APORTE DE COLIFORMES FECALES DE FUENTES DISPERSAS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE DE AÑASCO

Por

Paola Prieto-Pulido

Proyecto sometido como cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA
en
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2008

Aprobado por:

_____	_____
Luis R. Pérez Alegría, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Raúl E. Zapata López, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Jorge Rivera Santos, Ph.D. Presidente, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Eric W. Harmsen, Ph.D. Representante, Escuela Graduada	Fecha
_____	_____
Ismael Pagán Trinidad, M.S.C.E. Director, Departamento de Ingeniería Civil	Fecha

RESUMEN

Este documento contiene el trabajo realizado en la Cuenca del Río Grande de Añasco donde se determinó el comportamiento y transporte de coliformes fecales utilizando la herramienta computacional conocida como **ArcMap 9.1** y el programa de simulación hidrológica **HSPF** (Hydrologic Simulation Program FORTRAN). Utilizando los mecanismos de transporte y las fuentes de coliformes fecales identificadas, se creó el índice de áreas potencialmente susceptibles a contaminación fecal, el cual reflejó que las áreas más susceptibles están relacionadas a la presencia de pozos sépticos y sistemas de alcantarillado deficientes. Para calibrar el modelo de coliformes fecales se realizó un análisis de sensibilidad con los parámetros que intervienen en el flujo y en el transporte de coliformes fecales. El análisis de sensibilidad para flujo indicó que los parámetros más influyentes para la calibración hidrológica son *INFIL*, cuyos valores calibrados variaron entre 0.0508 cm/h y 0.762 cm/h y *AGWRC* con un valor calibrado de 0.985. Los parámetros *WSQOP-P* y *SQOLIM-P* se determinaron como más influyentes en el análisis. WSQOP-P tuvo un valor calibrado de 97.8 cm/hora y *SQOLIM-P* varió entre $5.6x10^{10}$ y $1x10^{19}$ Kg/Ha. Se realizaron varias combinaciones de porcentajes de reducción en las cargas utilizando diversas Mejores Prácticas de Manejo, y se encontró que es necesario integrar las reducciones óptimas en cada cuenca con el fin de cumplir con los estándares de calidad prevalecientes en Puerto Rico.

ABSTRACT

This document contains work conducted within the basin of the Rio Grande de Añasco where the behavior and transportation of fecal coliform bacteria were determined by using the software tool **ArcMap 9.1** and the Hydrological Simulation Program FORTRAN (**HSPF**). Using the transport mechanisms and the sources of the identified coliform fecal bacteria, the Index of Potentially Sensitive Areas was created. This index reflected that the most sensitive areas are related to the presence of faulty septic and sewage systems. In order to calibrate the fecal coliform bacteria model a sensitivity analysis was performed on the parameters that intervene in fecal coliform bacteria flux and transport. Analysis on the flux sensitivity index indicated that the most susceptible parameters for the hydrological calibration are I*NFIL*, whose calibrated values varied between 0.0508 y 0.762 cm/hour, and *AGWRC* with a calibrate value of 0.985. *WSQOP* and *SQOLIM-P* were determined as the key factors in the analysis. *WSQOP* had a calibrated value of 97.8 cm/hour r and *SQOLIM-P* varied between $5.6x10^{10}$ y $1x10^{19}$ Kg/Ha. Various combination of loads percentage reductions using Best Management Practices were performed and it was found that it is necessary to integrate the optimal reductions in each watershed in order to meet the quality standards of Puerto Rico.

A Dios por todo lo que tengo.

A mi esposo por hacerme feliz.

A mi hija adorada por darme fortaleza.

A mis padres y mi hermano por su amor y constante apoyo.

A la memoria de mi tía Adelita.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios por darme paciencia y claridad para culminar mi maestría.

Un completo agradecimiento a mis padres por apoyarme para iniciar mis estudios de maestría.

Un especial agradecimiento al Doctor Jorge Rivera Santos, por darme la oportunidad de realizar investigación con él. Por siempre ser una guía y un facilitador de las herramientas y conocimientos para realizar mi maestría.

Gracias al Doctor Luis Pérez Alegría, al Doctor Eric W. Harmsen y al Doctor Raúl Zapata López, que siendo parte de mi comité graduado hicieron acertadas recomendaciones para que este proyecto culminara exitosamente.

Agradecimientos al Instituto de investigaciones sobre Recursos de Agua y el Ambiente de Puerto Rico por patrocinar mis estudios e investigación.

Agradecimiento a Roy Ruiz por compartir sus conocimientos en ArcMap GIS y en agronomía.

Por último un agradecimiento muy especial a mi esposo Javier Sánchez Saavedra por intervenir oportunamente con sus conocimientos y experiencia en calibración y simulación de modelos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN ii

ABSTRACT iii

TABLA DE CONTENIDO vi

LISTA DE FIGURAS ix

LISTA DE TABLAS xii

1 Introducción 1

1.1 Enunciado del problema 1

1.2 Objetivo 3

2 Revisión de trabajos previos 4

2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar fuentes de contaminación y desarrollo de modelos hidrológicos 4

2.2 Análisis de fuentes dispersas con HSPF 6

2.3 Concentraciones pico en cuerpos de agua. 10

2.4 Características generales de HSPF 14

3 Descripción del área de estudio 17

3.1 Localización 17

3.2 Hidrología superficial 18

3.3 Geología e hidrología subterránea 20

3.4 Precipitación y temperatura 22

3.5 Topografía 23

3.6 Suelos 24
3.7 Grupos hidrológicos del suelo 24
3.8 Usos y cobertura del terreno 26
3.9 Población 27
4 Metodología 31
4.1 Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal (IAPSCF). 33
4.1.1 Descripción y desarrollo del SIG empleado 34
4.1.2 Descripción de datos empleados 34
4.1.3 Mecanismos de transporte para coliformes fecales 36
4.1.3.1 Distancia desde la fuente hasta el río 37
4.1.3.2 Coeficiente de escorrentía, CN 39
4.1.3.3 Dirección del flujo 40
4.1.3.4 Distancia entre las fuentes 41
4.1.4 Producción de coliformes fecales 43
4.1.5 Temperatura 47
4.2 Modelo de transporte y destino de Coliformes Fecales 49
4.2.1 Construcción del modelo 53
4.2.1.1 Delineación de subcuencas 54
4.2.1.2 Definición de usos y cobertura del suelo para HSPF 55
4.2.1.3 Suelos en el área de estudio para HSPF 58
4.2.1.4 Datos meteorológicos e hidrológicos 58
4.2.1.5 Desarrollo del modelo en HSPF 60

4.2.2 Análisis de sensibilidad para HSPF 62

4.2.3 Calibración y Validación del modelo en HSPF 65

5 Resultados y Discusión 69

5.1 Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal .69

5.2 Análisis de sensibilidad para el modelo de coliformes fecales.....75

5.3 Calibración y validación hidrológica 79

5.1 Calibración y validación para coliformes fecales 84

5.2 Reducciones requeridas 90

5.2.1 Producción de coliformes fecales actual 91

5.2.2 Mejores prácticas de manejo para coliformes fecales.....94

6 Conclusiones y Recomendaciones.....106

Referencias.....110

APÉNDICES 115

Apéndice A. Rango de valores para parámetros hidrológicos en HSPF…..... 116

Apéndice B. Parámetros hidrológicos calibrados para HSPF……..… 117

Apéndice C. Parámetros para coliformes fecales calibrados para HSPF…. ….120

Apéndice D. Violaciones de CF para el modelo calibrado en HSPF……123

Apéndice E. Archivo UCI de HSPF…….....…….. 135

Apéndice F. Series de suelos Cuenca del Río Grande de Añasco……..…..... 171

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Localización cuenca hidrográfica Río Grande de Añasco.....18

Figura 3.2 Límites hidrológicos de la cuenca. 19

Figura 3.3 DEM de la Cuenca del Río Grande de Añasco.....23

Figura 3.4 . Distribución de suelos en la cuenca 25

Figura 3.5 . Distribución de los grupos hidrológicos del suelo 26

Figura 3.6 . Usos y coberturas del terreno.....27

Figura 3.7 . Mapa de usos del suelo (PRWRERI, 2005).....28

Figura 4.1 Rutas de menor resistencia. 38

Figura 4.2 Rutas más cortas de viaje.....39

Figura 4.3 Número de Curva. 40

Figura 4.4 Dirección del flujo 41

Figura 4.5 Densidad de fuentes de coliformes fecales 42

Figura 4.6 Mecanismos de transporte.....43

Figura 4.7 Densidad de producción de coliformes fecales en la cuenca con un radio de búsqueda de 2000 m. 47

Figura 4.8 Influencia de la radiación solar en la cuenca. 48

Figura 4.9 Componentes hidrologicos en HSPF 51

Figura 4.10 Cuenca delineada para el modelo en HSPF. 56

Figura 4.11 Usos del suelo para la cuenca en estudio. (PRWRERI, 2007). 57

Figura 4.12 Clasificación de suelos para el área de estudio. 59

Figura 4.13 Modelo generado por BASINS-HSPF para el área de estudio. 61

Figura 5.1 Resultado del IAPSCF 69

Figura 5.2 IAPSCF en una escala cualitativa 70

Figura 5.3 IAPSCF y Vaquerias 71

Figura 5.4 IAPSCF y fincas porcinas 72

Figura 5.5 IAPSCF e industria avícola 72

Figura 5.6 IAPSCF y servicio sanitario 73

Figura 5.7 IAPSCF y pozo séptico 74

Figura 5.8 IAPSCF con pozo séptico y sistema sanitario 75

Figura 5.9 IAPSCF y Fuentes combinadas 76

Figura 5.10 Curva de duración- frecuencia para la calibración hidrológica (año 1996). 84

Figura 5.11 Calibración hidrológica para la estación USGS 50144000. 85

Figura 5.12 Diagrama de esparcimiento para la estación USGS 50144000. 85

Figura 5.13 Validación hidrológica para la estación USGS 50144000. 86

Figura 5.14 Curva de duración- frecuencia para la validación hidrológica (Año 1997). 86

Figura 5.15 Calibración para coliformes fecales de la estación USGS50144000 (Año 1996). 89

Figura 5.16 Validación para coliformes fecales en la estación USGS50144000 (Año 1997) 90

Figura 5.17 Distribución de producción de coliformes fecales (UFC/acres/día) en la subcuenca USGS_3000 92

Figura 5.18 Distribución de producción de coliformes fecales (UFC/acres/día) en la subcuenca USGS_4000.....92
Figura 5.19 Distribución de producción de coliformes fecales (UFC/acres/día) en la subcuenca USGS_6000.....93
Figura 5.20 MPM para la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en la subcuenca USGS_3000. 96
Figura 5.21 MPM para la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en la subcuenca USGS_4000. 97
Figura 5.22 MPM para la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en la subcuenca USGS_6000. 97
Figura 5.23 Violaciones de coliformes fecales en la subcuenca USGS_3000 (Año 1996), según la simulacion.....98
Figura 5.24 Violaciones de coliformes fecales en la subcuenca USGS_4000 (Año 1996) según la simulacion.....99
Figura 5.25 Violaciones de coliformes fecales en la subcuenca USGS_6000 (Año 1996) según la simulacion.....99
Figura 5.26 MPM óptimas para la subcuenca USGS_3000.....104
Figura 5.27 MPM óptimas para la subcuenca USGS_4000.....104
Figura 5.28 MPM óptimas para la subcuenca USGS_6000.....105

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Usos del suelo 2003 y CN.....29

Tabla 3.2 Población en la Cuenca del Río Grande de Añasco. 30

Tabla 4.1 Fuentes de información y datos requeridos 35

Tabla 4.2 Parámetros seleccionados para el análisis de mecanismos de transporte 37

Tabla 4.3 Parámetros seleccionados- grilla de rutas de menor resistencia 38

Tabla 4.4 Producción de coliformes fecales por cada tipo de fuente en la cuenca del Río Grande de Añasco. 45

Tabla 4.5 Formato dbf para el índice de Coliformes fecales.....46

Tabla 4.6 Estaciones de calidad de agua operadas por el USGS. 54

Tabla 4.7 Clasificación de suelos en BASINS-HSPFpara la Cuenca del Río Grande de Añasco. 57

Tabla 4.8 Parámetros seleccionados para análisis de sensibilidad de flujo.....64

Tabla 4.9 Parámetros seleccionados para análisis de sensibilidad de coliformes fecales.....65

Tabla 5.1 Resultado del analisis de sensibilidad para flujo. 77

Tabla 5.2 Resultado del analisis de sensibilidad para coliformes fecales. 78

Tabla 5.3 Indicadores estadísticos para la calibración y verificación de flujo. 83

Tabla 5.4 Produccion de coliformes fecales por tipo de fuente (UFC/acre/día). .91

Tabla 5.5 Masa total de coliformes fecales (UFC/año) para varios grados de reducción en pozos sépticos y pollos en la subcuenca USGS_3000…95

Tabla 5.6 Masa total de coliformes fecales (UFC/año) para varios grados de reducción en vacas y cerdos en la subcuenca USGS_4000. 95

Tabla 5.7 Masa total de coliformes fecales (UFC/año) para varios grados de reducción en pozos sépticos y cerdos en la subcuenca USGS_6000. 95

Tabla 5.8 Probable número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_3000. 101

Tabla 5.9 Probable número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_4000. 101

Tabla 5.10 Probable número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_6000. 102

Tabla 5.11 Número de violaciones de coliformes fecales con MPM combinadas en la estación USGS_3000. 103

Tabla 5.12 Número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_4000. 103

Tabla 5.13 Número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_6000. 103

1 Introducción

El presente documento contiene el desarrollo de la investigación referente al comportamiento y aporte de coliformes fecales en la cuenca hidrográfica del Río Grande de Añasco. Esta se realizó como contribución al desarrollo del plan de manejo de contaminantes conocido como Cargas Diarias Máximas Totales (CDMT) en dicha cuenca.

El CDMT tiene por objetivo asignar responsabilidades a los constituyentes y establecer un plan de manejo de contaminantes específicos para cumplir con los estándares de calidad de agua estipulados por la Junta de Calidad Ambiental (JCA) para los usos designados (Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, 2003).

1.1 Enunciado del problema

En el desarrollo del CDMT en el Río Grande de Añasco, ubicado en la zona oeste de Puerto Rico, se ha encontrado que existe una violación de la norma de calidad de agua de la JCA en cuanto a las concentraciones de coliformes fecales, entre otras, y por tal hecho es preciso aplicar medidas correctoras. En muestreos instantáneos realizados en el Río Grande de Añasco se han observado concentraciones de coliformes fecales de hasta 200,000 colonias por cada 100 ml de agua, valor que sobrepasa el nivel permitido por la JCA que es de 200 unidades formadoras de colonias (UNF) por 100 ml para

abasto de agua de consumo humano. La cuenca hidrográfica del Río Grande de Añasco incluye los territorios pertenecientes a los municipios de Lares, Las Marías, San Sebastián, Añasco, Mayagüez, Maricao, Adjuntas y Yauco. El canal principal tiene una longitud aproximada de 64 kilómetros, en los cuales existe un contacto directo con la comunidad que se favorece de este recurso, pero que a su vez se puede ver afectada por su contaminación.

Los coliformes fecales se encuentran en los intestinos de seres humanos y animales de sangre caliente y llegan a los cuerpos de agua en las heces fecales que son transportados allí generando la contaminación del recurso. Estos coliformes son un indicador comúnmente empleado para identificar la presencia de microorganismos patógenos que pueden causar serios problemas de salud pública al tener contacto, bien sea en los alimentos o en actividades de recreación dentro del río.

La presente investigación se encaminó en cuantificar los coliformes fecales aportados por fuentes dispersas en la parte alta de la cuenca del Río Grande de Añasco (Punto de salida de la cuenca está localizado en el puente de la carretera PR-430), para lo cual se utilizó el programa de simulación hidrológica "**Hydrologic Simulation Program-FORTRAN" (HSPF)** (Aqua Terra Consultants, 2004b) que modeló el destino y transporte del contaminante alrededor de la cuenca y permitió diferenciar los aportes en época seca y época húmeda. Con la información obtenida es posible tomar medidas correctoras de

esta problemática de tal manera que no se vean afectadas las comunidades de la cuenca y el ambiente en general.

1.2 Objetivo

El Objetivo principal de este trabajo fue determinar el aporte de coliformes fecales en el Río Grande de Añasco, proveniente de las diferentes fuentes de contaminación dispersas, mediante el uso del programa computarizado HSPF para la simulación de transporte de contaminantes.

Los objetivos específicos para este trabajo fueron:

- Identificar posibles fuentes de contaminación por coliformes fecales utilizando información previamente recolectada en un estudio realizado por el Instituto de Recursos de Agua y el Ambiente de Puerto Rico (PRWRERI, 2007).

- Cuantificar la contribución de coliformes fecales de cada fuente identificada y determinar su influencia en el río.

- Calcular porcentajes de reducción en cada una de las fuentes para cumplir con los estándares de calidad exigidos por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico.

2 Revisión de trabajos previos

La simulación hidrológica es una herramienta ampliamente utilizada en la actualidad, con la que entre otras cosas es posible simular el comportamiento y transporte de contaminantes en las cuencas hidrográficas. Y de esta manera, tomar decisiones referentes a la mitigación de impactos ambientales causados por los mismos. A continuación se da una muestra de algunos trabajos relacionados con la simulación de contaminantes, especialmente de coliformes fecales, lo cual enmarca y contextualiza esta investigación.

2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar fuentes de contaminación y desarrollo de modelos hidrológicos

Los SIG son ampliamente utilizados, debido a que permiten al usuario integrar de manera ordenada diferentes componentes geoespaciales, y de esta manera analizar problemas ambientales. Un ejemplo son los mapas de vulnerabilidad, para los cuales se utilizan varios tipos de componentes físicos, teniendo en cuanto su variabilidad espacial (Laurent et al, 1998). Una vez se tiene información del terreno y la cobertura del suelo, los SIG pueden ser empleados para analizar las características físicas de las cuencas hidrológicas, tales como pendiente del terreno, longitud del canal, definición de subcuencas , entro otros (Laurent et al, 1998). El ¨costo de viaje¨ de un contamínate a lo largo de una cuenca, puede ser calculado con los SIG, mediante la herramienta ¨cost distance¨, que es una función basada en un modelo gráfico, que con la

integración de aspectos como pendiente del terreno, uso y tipo del suelo permite identificar cuáles son las rutas más probables de viaje del agua por escorrentía y por ende de los CF, y con esto determinar zonas vulnerables a la contaminación.

Los sistemas de información geográfica son esenciales para el procesamiento de información que es requerida para modelos espaciales y el análisis de resultados, especialmente por la capacidad de derivar atributos de diferentes fuentes de información. Modelos estáticos pueden funcionar relativamente fácil dentro del los SIG, sin embargo resulta complejo integrar los SIG a modelos dinámicos en tiempo, por esta razón se desarrollan interfaces que permitan el uso de los SIG junto con modelos hidrológicos; mediante el desarrollo de scripts y Macros, que varían dependiendo del lenguaje de programación que se emplee (Deursen y Wesseling, 1996).

Bellal, Sillen y Zeck (1996) desarrollaron un método que acopla los SIG basados en representaciones digitales del terreno, con modelos hidrológicos distribuidos, con el fin de determinar el impacto de un desarrollo urbano en la relación lluvia-escorrentía. Para obtener la caracterización de la cuenca se emplearon datos superficiales con los modelos digitales de elevación del terreno, para los que en cada celda se calcula el balance hídrico, y de esta manera se obtienen los valores de interflujo y escorrentía, que posteriormente son analizados en diferentes opciones de planeación para la toma de decisiones.

Un modelo hidrológico requiere un gran número de datos de entrada que representan las condiciones ambientales de la cuenca, como también incorpora un gran número de parámetros para cuantificar los procesos físicos y bioquímicos (Shen et al, 2005). Se han desarrollado herramientas e interfaces, con el fin de mejorar la eficiencia del modelo, las cuales eliminan los datos de entrada repetitivos e innecesarios, para de esta manera minimizar los errores humanos. Los SIG son ampliamente utilizados para el modelamiento de cuencas, para preparar los datos, calcular parámetros y visualizar resultados (Lahlou et al, 1998).

El programa ¨ Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources¨ (BASINS), emplea los SIG para organizar la información espacial, en forma de mapas, tablas o gráficas, ya que este usa técnicas que analizan la información del terreno y su interrelación. BASINS a través de los SIG tiene la capacidad de mostrar de manera integrada un amplio rango de información como usos del suelo, descargas de fuentes puntuales, redes hídricas, entre otros (Kinerson et al, 2001).

2.2 Análisis de fuentes dispersas con HSPF

Con el fin de analizar y estudiar las concentraciones de coliformes fecales en cuencas hidrográficas, actualmente se están utilizando modelos de simulación hidrológica, y entre ellos se encuentra el Hydrologic Simulation Program-FORTRAN (**HSPF**). Im et al. (2004), emplearon HSPF para simular el

transporte y comportamiento de los coliformes fecales presentes en la cuenca Polecat Creek localizada en Virginia, en una investigación realizada por el Departamento de Ingeniería de Sistemas Biológicos de la Universidad Estatal e Instituto Politécnico de Virginia. Los investigadores afirman que **HSPF** representa de manera razonable la hidrología y calidad de agua de una cuenca urbanizada, y que puede ser utilizado como una herramienta de planificación para simular las concentraciones provenientes de fuentes puntuales y dispersas. También, este modelo puede caracterizar la variación temporal del contaminante en la zona de estudio.

HSPF requiere como datos de entrada para la simulación, diferentes variables climáticas tales como: precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento, evaporación y punto de rocío. Por otra parte requiere caudales del río, datos de sedimentos y bacterias en el río, características de los usos del suelo y topografía.

Es necesario recolectar información acerca de la acumulación del contaminante y tasas de disposición de coliformes fecales en la cuenca, tanto para fuentes puntuales como dispersas.

Se calibró un modelo para una cuenca urbanizada a partir de los datos de calidad de agua obtenidos con mediciones realizadas desde Septiembre de 1996 hasta Junio de 2000 (Im et al., 2004). En esta parte se pudo concluir que debido a que los factores hidrológicos tienen una influencia directa con los constituyentes de la calidad de agua, es éste componente el que debe ser

calibrado inicialmente y se realizó con ayuda de **Hydrologic Simulation Program EXpert** (**HSPEXP**). Posteriormente se realizó la simulación de las concentraciones de coliformes fecales en el río, y la calibración se realizó comparando los datos resultantes de la simulación con los observados en campo. Sin embargo este procedimiento presentó limitaciones, como el hecho de que las grandes variaciones temporales y espaciales en la concentración de bacterias, no son reflejadas en los muestreos realizados mensualmente.

Para este estudio se empleó la razón de remoción de coliformes fecales de investigaciones previas con un valor de 0.111 día $^{-1}$. La razón de decaimiento biológico y químico se determinó a partir de las muestras recolectadas.

Calcular las cargas de coliformes fecales para el desarrollo de los CDMT, puede ser un trabajo arduo que consume mucho tiempo. **HSPF** requiere datos de entrada de coliformes fecales en forma tabular para el aporte del terreno, y archivos de series de tiempo para las contribuciones directas al río. Se han desarrollado programas para crear ese tipo de archivos. Una herramienta de HSPF es el ¨Fecal Coliform Calculator¨, el cual requiere como datos de entrada, el número de animales, usos del suelo, y la red de ríos. La razón de producción de coliformes fecales es proporcionada por el programa, pero puede ser modificada por el usuario. (Zeckoski et al, 2003).

Una fuente importante de coliformes fecales son los campos de pastoreo, puesto que las bacterias se transportan por acción de la escorrentía y llegan a los cuerpos de agua. Edwards, et al. (2000), analizaron el aporte de coliformes

fecales debido a la aplicación de abono en pastizales experimentales. Para este fin se aplicó al suelo abono de ganado vacuno, luego se indujo escorrentía con simuladores de lluvia y posteriormente se tomaron y analizaron muestras de la escorrentía producida. Con esto se determinó que la concentración de coliformes fecales presenta una distribución log-normal, y que tiende a disminuir con el tiempo.

En la cuenca de Oquina Creek en Atlanta, Georgia se presentó la necesidad de realizar un CDMT, debido a que un tramo del río presentaba concentraciones de coliformes fecales superiores a las permitidas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (The Georgia Department of Natural Resources Protection, 2000). La fase inicial del proyecto consistió en identificar y cuantificar las posibles fuentes tanto puntuales como distribuidas. Debido a que se buscaba simular el comportamiento de los coliformes fecales en un tiempo variable y en simulación continua, para observar el efecto de las estaciones en dichas concentraciones, se estudió cuál sería el modelo más apropiado para tal fin. El modelo seleccionado fue el de fuentes dispersas que utiliza **HSPF**, el cual simula la hidrología y la calidad de agua de la cuenca. La calibración hidrológica se realizó con datos de caudales históricos proporcionados por la Inspección Geológica de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), y la calibración de calidad de agua se realizó con datos de muestras realizadas en 1998. Una vez calibrado el modelo se obtuvo como resultado concentraciones pico de coliformes fecales en eventos fuertes de lluvia.

2.3 Concentraciones pico en cuerpos de agua.

Una investigación fue realizada en la cuenca de Salado Creek, Texas, (Paul et al, 2004), motivada por estar en la lista de la sección 303 (d) de la Ley de Aguas Limpias de cuerpos de agua con altas concentraciones de coliformes fecales. Para este estudio se analizaron diferentes modelos para simular el comportamiento de coliformes fecales y se llegó a la conclusión que **HSPF** era el más apropiado para este caso, puesto que permite conocer la contribución de bacterias, tanto de abono acumulado como del aplicado más recientemente y calcula la pérdida de bacterias en esa transición.

Este estudio se realizó con el fin de analizar la aplicabilidad de **HSPF** como una herramienta para predecir la concentración de coliformes fecales en la zona de estudio, y determinar la sensibilidad de los parámetros del modelo en las concentraciones pico que se presentan en el río.

En primera instancia se calibró el modelo hidrológico, seguido de la validación de las concentraciones de coliformes fecales en el río con **HSPF**. Posteriormente, se realizó el análisis de sensibilidad para las concentraciones pico en el río y, por último, se realizó un análisis de incertidumbres mediante una técnica de primer orden, para determinar la varianza de los parámetros en el análisis de sensibilidad.

WinHSPF fue empleado para modificar las entradas del modelo, puesto que este programa provee una interfase gráfica para el usuario, lo cual facilita su

utilización. Con el fin de calibrar el modelo se utilizó **HSPFEXP**, el cual permite editar las secuencias de entrada a **HSPF** de manera interactiva, puesto que grafica las salidas del modelo junto a los valores observados y calcula el error estadístico entre ellos. Para correr **HSPFEXP** se requieren ocho salidas de series de tiempo que son: escorrentía total simulada (*SIMQ*), escorrentía superficial simulada (*SURO*), interflujo simulado (*IFWO*), flujo base simulado (*AGWO*), evapotranspiración potencial (*PETX*), evapotranspiración actual simulada (*SAET*), almacenamiento en la zona alta (*UZSX*), y almacenamiento en la zona baja (*LZSX*).

Una vez fue calibrado el componente hidrológico del modelo, se prosiguió con la simulación de la concentración de coliformes fecales en el río, y posteriormente la comparación de los resultados de simulación con los observados. Los autores indicaron que debido a que los datos de calidad de agua eran limitados fue difícil realizar una calibración razonable.

Otra investigación se realizó en un estuario ubicado entre el norte y el centro del golfo de México, la cual tiene como tema central analizar el comportamiento de las concentraciones de coliformes fecales presentes en el agua, en función de la temperatura, salinidad y eventos de lluvia (Chigbu et al. (2005).

Debido a que los coliformes fecales se usan como indicador de organismos patogénicos, los mismos son comúnmente monitoreados con el fin de asegurar que las fuentes de agua potable y recreación se encuentren dentro

de los estándares de calidad. También se usan como indicador en el cultivo de mariscos ya que es indispensable que el agua de estos cultivos esté libre de este tipo de contaminación. La carga de coliformes fecales que llega a las aguas superficiales viene principalmente de aguas residuales, sistemas sépticos que operan incorrectamente, procesos de escorrentía en terrenos de cultivo agrícola y en zonas de alimentación de animales. Estas descargas ocasionan un aumento de la concentración de coliformes fecales en las aguas superficiales, sin embargo existen procesos naturales para remediar estos incrementos.

Los objetivos de este estudio fueron: evaluar los efectos de la lluvia en la concentración de coliformes fecales, determinar la tasa de mortandad de los coliformes fecales debido al impacto ocasionado por salinidad, temperatura y cambio de estación. Por medio de datos de calidad de agua recolectados de varias estaciones ubicadas en el oeste de Mississippi, se evaluaron durante 12 eventos de lluvia los niveles de coliformes fecales con el método del número más probable (NMP) presente en 100 ml de muestra. Con estos datos se realizó un promedio geométrico de las muestras colectadas. La razón de mortandad “k” se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} \quad , \qquad (2.1)$$

donde N_t es el número de bacterias en un tiempo t, N_0 es el número de bacterias a tiempo cero, t es el tiempo en días y k es la razón de mortandad. Se determinó que la razón de mortandad es de primer orden.

Mediante los experimentos se observó que los parámetros estudiados presentaron un aumento en la concentración coliformes fecales tan pronto ocurre el evento de lluvia en las áreas de estudio que se encuentran próximas a las desembocaduras de los ríos y un decrecimiento poco tiempo después de dicho evento.

En la Cuenca del Río Cibuco, en Puerto Rico se desarrolló un CDMT debido a las altas concentraciones de coliformes fecales encontradas en el río en las estaciones de calidad y flujo (U.S EPA, 2002). Datos de calidad de agua y de caudales fueron examinados para determinar una relación matemática entre estos datos. El propósito de esta relación fue el poder predecir la carga de bacterias para diferentes percentilas de flujo. Para las dos estaciones utilizadas (USGS 50039500 y USGS 50038320), la relación mostró una correlación significativa para la primera estación mientras que con los datos de la segunda estación la correlación fue pobre (0.71 y 0.39, respectivamente). Las cargas de bacterias provenientes de fuentes dispersas fueron cuantificadas utilizando el modelo “Watershed Treatment Model” (WTM) del Centro para la Protección del Agua (Caraco, 2001). Este modelo está fundamentado en el uso de terrenos de la cuenca. Basado en las reducciones de cargas trazadas y en la asignación de cargas de las fuentes dispersas, se recomendaron una serie de opciones de manejo de cargas a ser implantadas en un periodo de 10 años.

2.4 Características generales de HSPF

HSPF se originó del **Stanford Watershed Model (SWM)**, desarrollado por Crawford y Linsley en 1966. Ellos fueron los que también adicionalmente desarrollaron el modelo original conocido como Hydrocomp Simulation Program **(HSP)**, el cual incluye transporte de sedimentos y simulación de calidad de agua. A comienzos de 1970 Hydrocomp desarrollo Agricultural Runoff Management Model **(ARM)** y Nonpoint Source Pollutant Loading Model **(NPS)** para la EPA. Debido a las limitaciones de los programas existentes en ese momento la EPA en 1976 comisionó a Hydrocomp, Inc., para desarrollar un sistema de simulación en módulos en lenguaje Fortran, que permitiera integrar las funciones de **HSP**, **ARM** y **NPS**; y como resultado se obtuvo **HSPF**. El programa que se utiliza actualmente incluye la versión actualizada de los trabajos realizados por Hydrocomp Inc. (Suárez-Narváez, 2005).

HSPF es un modelo conceptual, para simulación continua en cuencas hidrográficas, diseñado para simular procesos donde se involucra la cantidad y calidad del agua en la cuenca. Dentro de estos procesos se incluye el transporte de sedimentos y movimiento de contaminantes. **HSPF** permite al usuario dividir la cuenca en segmentos homogéneos para disminuir la variabilidad espacial, y de esta manera mejorar la respuesta del sistema, usando datos meteorológicos de entrada y parámetros de la cuenca para cada segmento.

HSPF representa matemáticamente los procesos hidrológicos como flujos y almacenamientos, por esto se requiere el uso de parámetros calibrados para

representar el comportamiento hídrico de las cuencas. Para la simulación se requiere que la cuenca esté representada por subcuencas. Los límites son establecidos por el usuario, de manera tal que cada subcuenca tenga características hidrológicas similares. Las áreas se dividen en permeables, que son las que tienen la capacidad de permitir la infiltración, y las impermeables que no la permiten. Estas dos áreas son simuladas de manera independiente. En el área permeable **HSPF** modela el movimiento del agua de tres maneras: escorrentía, interflujo y flujo de aguas subterráneas. Por otra parte en el área impermeable, por efecto de la precipitación, escorrentía y evaporación, los constituyentes de calidad de agua se acumulan y se remueven.

El modulo *PQUAL* de **HSPF** simula constituyentes de calidad de agua o contaminantes de las áreas permeables del terreno, empleando relaciones simples con el comportamiento de los sedimentos y/o el agua. Cualquier constituyente puede ser simulado. El usuario debe proveer al programa el nombre, las unidades y los valores apropiados del constituyente.

La simulación de calidad de agua en **HSPF** presume que los constituyentes están asociados a uno o más factores tales como, sedimentos, flujo sobre el terreno, interflujo, y flujo de aguas subterráneas. Se presume que los coliformes fecales están relacionados al flujo (Paul et al, 2004), y que se acumulan en la superficie del terreno antes de la ocurrencia de un evento de lluvia. La subrutina *QUALOF* simula el almacenamiento de los constituyentes de calidad de agua en la superficie del terreno. En esta subrutina se considera que

los constituyentes pueden acumularse y removerse por razones diferentes a los eventos de lluvia, tales como: limpieza, decaimiento, erosión y deposición del viento, o lavado por acción de la escorrentía (Donigian et al, 1995).

3 Descripción del área de estudio

El presente capítulo presenta una descripción detallada del área de estudio de este proyecto, que corresponde a la cuenca hidrográfica del Río Grande de Añasco; donde se incluyen las características físicas, climáticas y geográficas de la cuenca.

3.1 Localización

La cuenca del Río Grande de Añasco está localizada el área oeste de la isla, más exactamente en la zona comprendida por los municipios de Lares, Las Marías, San Sebastián, Añasco, Mayagüez, Maricao, Adjuntas y Yauco (Figura 3.1). De esos ocho municipios, seis son cubiertos parcialmente por la cuenca y dos en su totalidad; estos dos son Añasco y Las Marías.

La mayor actividad económica de la cuenca es la agricultura, especialmente el café y el plátano (PRWRERI, 2007) El área comprendida por el valle aluvial del Río Grande de Añasco es de aproximadamente 18 millas cuadradas, donde se pueden encontrar algunas actividades industriales. El valle aluvial del río limita con montañas por el norte, este y sur, y por el oeste con la Bahía de Mayagüez. Los tributarios de este río en el valle bajo son el Río Dagüey y el Río Cañas (Veve y Taggart, 1996).

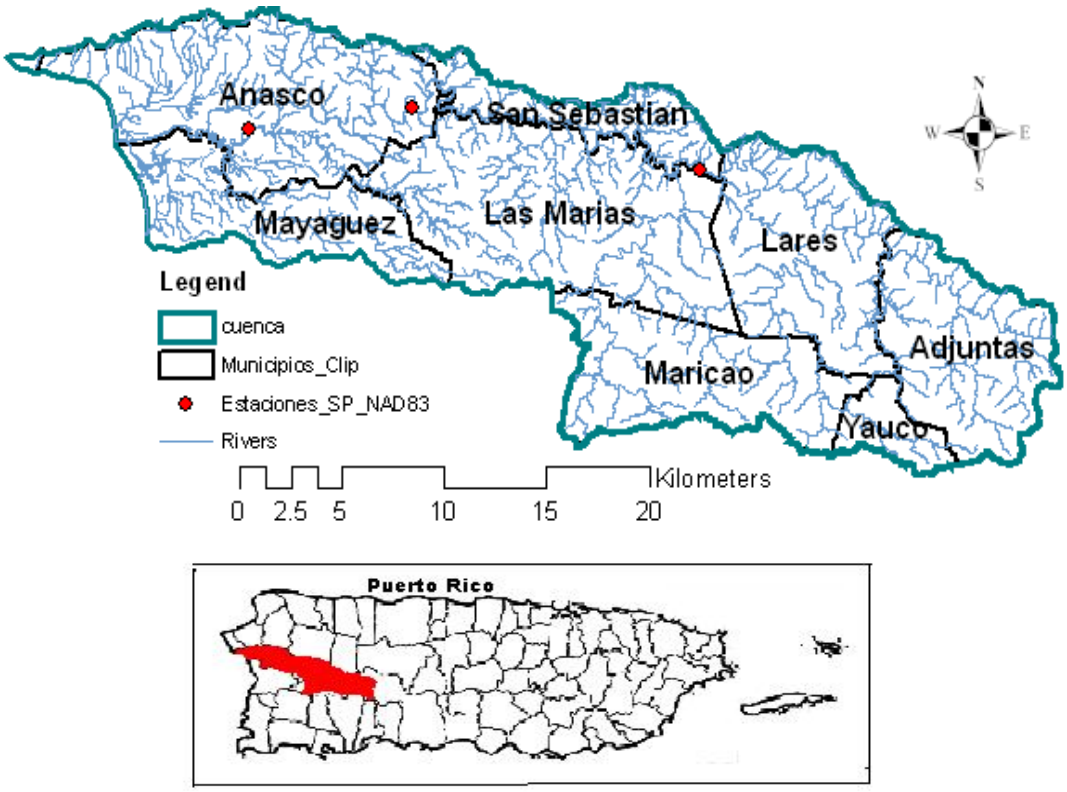


Figura 3.1 Localización cuenca hidrográfica Río Grande de Añasco.

3.2 Hidrología superficial

El Río Grande de Añasco es el segundo río más grande de Puerto Rico. Nace a una elevación de 1,204 m cerca del Monte Guilarte, fluye de este a oeste comprendiendo una longitud de 74 Km para finalmente descargar en la Bahía de Mayagüez. A partir del modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) se establecieron los límites hidrológicos (Figura 3.2), donde se observa que el río recoge aguas de los municipios de Adjuntas, Lares, Las

Marías, San Sebastián, Añasco y colinda con Mayagüez, Yauco y Maricao. El área de drenaje de la cuenca es de 520.98 km^2 (PRWRERI, 2007).

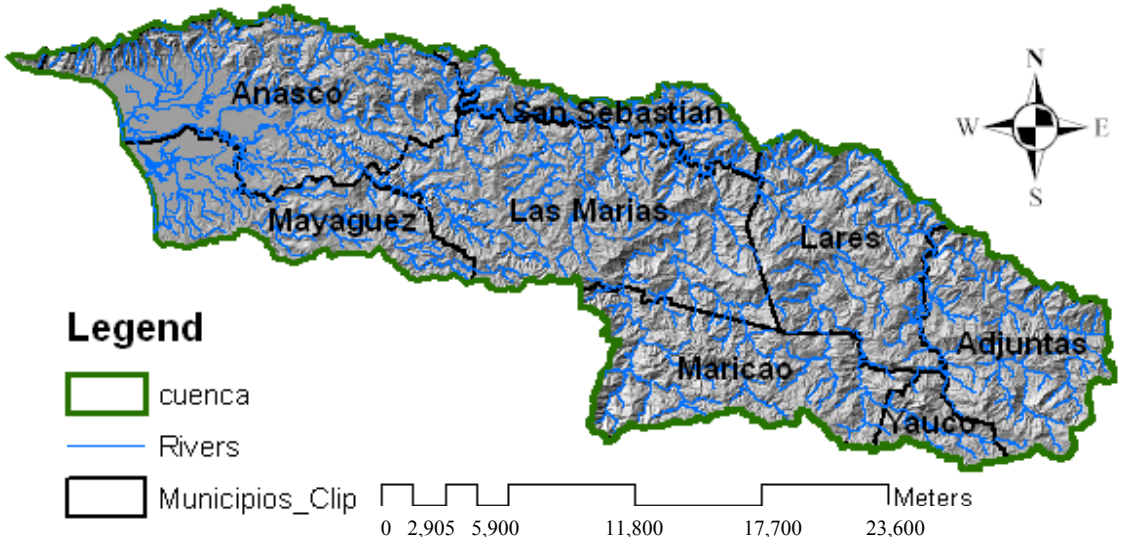


Figura 3.2 Límites hidrológicos de la cuenca.

La cuenca hidrográfica del Río Grande de Añasco es en tamaño la quinta de mayor tamaño dentro de la isla. Cuenta con más de cien tributarios conformados por ríos, quebradas y manantiales, así como con otros recursos fluviales que son el Río Hondo, Río Daguey, Río Humatas y Río Cañas. El río nace de un gran número de cuencas pequeñas en la cordillera central entre los municipios de Lares, Yauco y Adjuntas, donde predominan las lluvias durante el año, y debido al proceso de escorrentía se forman importantes ríos, entre los cuales están el río Toro, Guilarte, Yahuecas, Guayo, Limaní, Blanco, Prieto, y Guaba, cuyo flujo combinado descarga en el canal principal del Río Grande de Añasco. El promedio de escorrentía anual que produce la cuenca es aproximadamente 259.2 MGD (388.45 x 10^6 m^3/año). (PRWRERI, 2007).

El Río Grande de Añasco está unido a tres embalses que son Lago Prieto, Lago Guayo, Lago Yahuecas, y la toma del agua del río Toro. Para efecto de la calibración de coliformes fecales desarrollada en el presente trabajo no se tuvo en cuenta la cuenca de dichos lagos, debido a que sus escorrentías son desviadas hacia otra cuenca en las vertientes del sur. Mientras que para calcular el Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal (**IAPSCF**) se empleó la cuenca completa.

3.3 Geología e hidrología subterránea

Las unidades acuíferas más relevantes dentro de la zona más baja del valle del Río Grande de Añasco son el aluvión y los lechos subyacentes de piedra caliza (Veve y Taggart, 1996). Mediante una prueba de refracción sísmica realizada en la parte baja del valle del Río Grande de Añasco, revela que este valle contiene una zona saturada de aluvión que se extiende en un rango de 15 a 31 metros de profundidad. (Veve y Taggart, 1996).

La zona comprendida entre las rocas volcánicas y volcanoclásticas y el aluvión, están conformados por arcilla dura y piedra caliza. La cantidad de agua subterránea disponible en la región de Añasco es desconocida. Los depósitos aluviales tienen una baja permeabilidad, debido a que en su composición predominan materiales de grano fino. Cuando los depósitos aluviales contienen en sus lechos materiales como arena y grava la permeabilidad es mayor. La

recarga del aluvión en la parte baja del valle del Río Grande de Añasco se debe principalmente a la precipitación directa (Veve y Taggart, 1996).

Las rocas de origen volcánico de la era cretácica en su mayoría fueron formadas en un ambiente marino. Estas se presentan con frecuencia en la región de Añasco, pequeñas vetas de rocas plutónicas afloran desde la roca basáltica en la base. En el valle del Río Grande de Añasco estas rocas volcánicas se encuentran heterogéneamente cubiertas por depósitos aluviales de la era cuaternaria. El relleno aluvial en este valle está compuesto de arcilla, limo y arena con depósitos localizados de grava. (Veve y Taggart, 1996).

El nivel del agua subterránea en el valle bajo esta dentro de un rango entre de 0 metros cerca a la costa y 9 metros sobre el nivel medio del mar en la parte alta del valle. Las aguas subterráneas fluyen hacia el mar y descargan en el Río Grande de Añasco, en el Caño La Puente y en el Caño Boquilla. (Veve y Taggart, 1996).

A lo largo del curso del Río Grande de Añasco se han depositado corredores finos de aluvión. Los depósitos de pantano están presentes en áreas relativamente grandes del valle. (Veve y Taggart, 1996).

La superficie de las rocas volcánicas subyacentes al valle inciden de gran manera en profundidades cercanas a los 107 metros debajo del nivel medio del mar, indicando que el Río Grande de Añasco puede cortar profundamente el piso del valle cuando los niveles del mar son bajos. (Veve y Taggart, 1996).

3.4 Precipitación y temperatura

Las montañas que conforman la cordillera central son unas de las principales razones por las que se presentan tantas variaciones en el régimen de lluvias y la temperatura en Puerto Rico en distancias relativamente cortas. El clima de la cuenca del Río Grande de Añasco se caracteriza por ser cálido. Las temperaturas diarias en promedio son de 22 a 26 grados Celsius. Se observan dos estaciones a lo largo del año que se denominan época lluviosa y época seca. Durante la época lluviosa que está comprendida entre los meses de mayo a octubre se presentan chubascos periódicos de 10 a 20 minutos de duración con tormentas ocasionales que van entre una a dos horas con una frecuencia de de tres a cuatro veces por semana. Durante la época seca disminuye la recurrencia de los chubascos y se dan en horas de la tarde (Corvera, 2005).

La lluvia promedio anual en la cuenca es de 2,184 milímetros, que pueden variar de 1,676 milímetros en las zonas costeras hasta 2,743 milímetros en zonas montañosas (Rodríguez -Martínez et al, 2004). En años con presencia de sequías, la precipitación promedio anual puede disminuir a 1524 milímetros pulgadas (PRWRERI, 2007). Se producen lluvias intensas por acción de huracanes y ondas tropicales por ende producen flujos intensos en el valle aluvial oeste de la zona urbana de Añasco. Debido a que gran parte de la cobertura de la cuenca es forestal, la tasa de evapotranspiración es relativamente alta, con un promedio anual de 1,219 milímetros de agua

evaporada, lo que equivale al 56% de la lluvia promedio anual, y tiene un mínimo de 1,117 milímetros en época de flujos bajos.

3.5 Topografía

El valle de la cuenca presenta elevaciones desde el nivel promedio del mar en la costa, hasta elevaciones en las montañas que rodean el valle aluvial que alcanzan los 1,200 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.3). Dichas montañas forman parte de la cordillera central que atraviesa la isla. (Veve y Taggart, 1996).

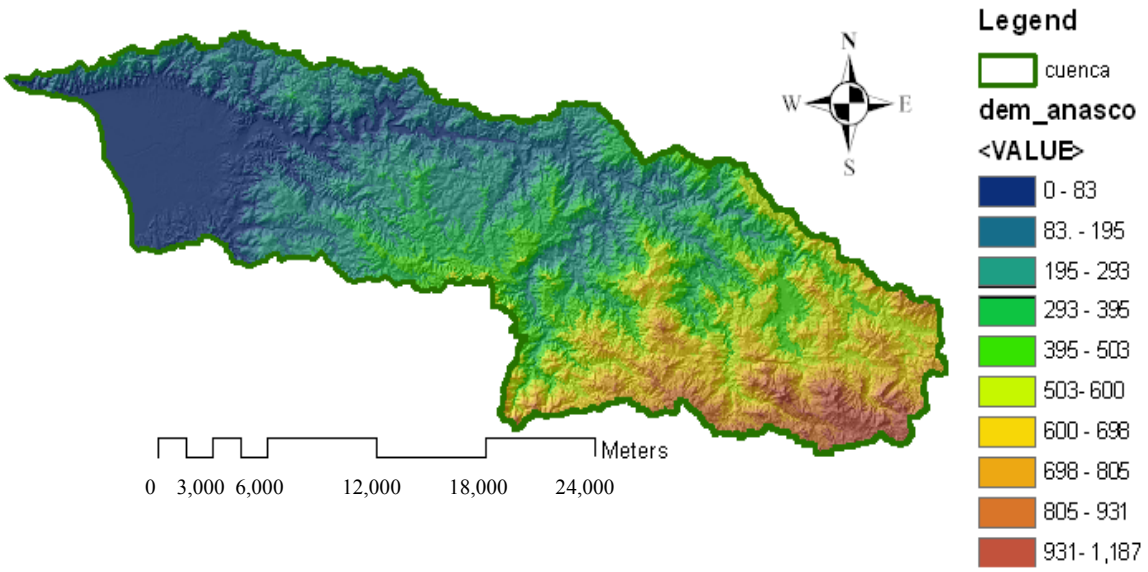


Figura 3.3 DEM de la Cuenca del Río Grande de Añasco.

3.6 Suelos

En la Figura 3.4 se muestra la clasificación de suelos para la cuenca, donde se encontró que los suelos pertenecientes a la serie Consumo (40.1%) son los más predominantes en la cuenca y se caracterizan por tener buen desagüe, ser fuertemente ácidos y moderadamente permeables. Estos suelos son formados por materiales residuales meteorizados. De igual manera se encuentra una presencia significativa de la serie Humatas (25.6%), que consiste en suelos profundos de buen desagüe, fuertemente ácidos y moderadamente permeables; que se han formado en material residual meteorizado de las rocas volcánicas (USDA, 1979).

3.7 Grupos hidrológicos del suelo

Cada tipo de suelo puede ser clasificado según su grupo hidrológico, dependiendo de las características del suelo y su topografía en la cuenca (USDA, 1986). Existen cuatro grupos hidrológicos. Para suelos saturados, el grupo A, que presenta una razón alta de infiltración (7.61 – 11.43 mm/hr) (0.30 – 0.45 in/hr); el grupo B con una razón de infiltración moderada (3.81 – 7.61 mm/hr) (0.15 – 0.30 in/hr); el grupo C presenta razones bajas de infiltración (1.27 – 3.81 mm/hr) (0.05 – 0.15 in/hr); y el grupo D con razones de infiltración muy bajas (0 – 1.27 mm/hr) (0 – 0.05 in/hr) (Hernández-Pérez, 2006). En la Figura 3.5 se observa la distribución de los grupos hidrológicos en la cuenca. El grupo que predomina es el C, el cual atraviesa toda la zona montañosa de la

cuenca, seguido del B localizado en la zona lateral de la cuenca principalmente, el grupo D esta principalmente en el área urbana de Añasco, y el grupo A tiene una baja presencia en la cuenca.

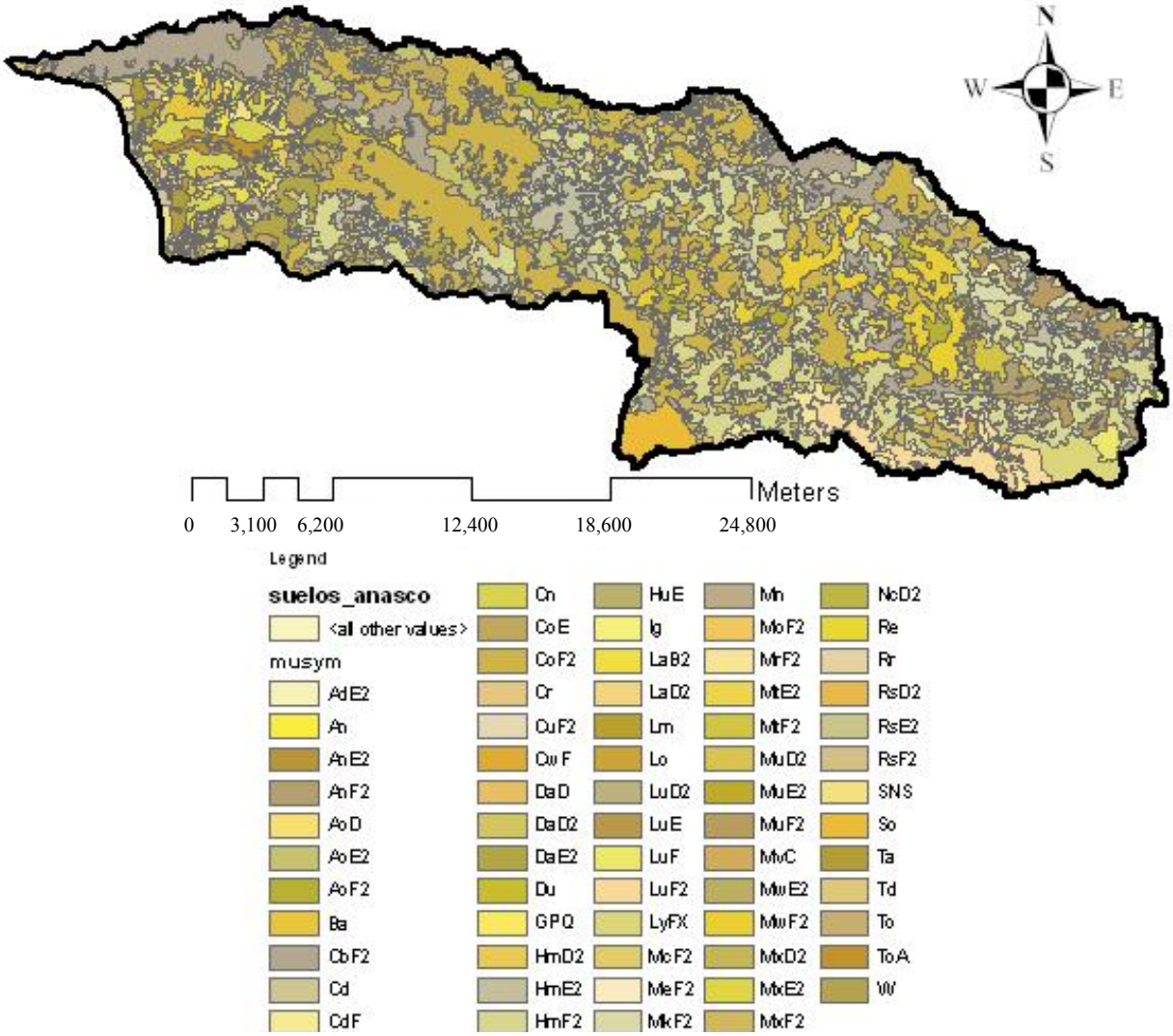


Figura 3.4 . Distribución de suelos en la cuenca (Tomado de USDA, 1975)

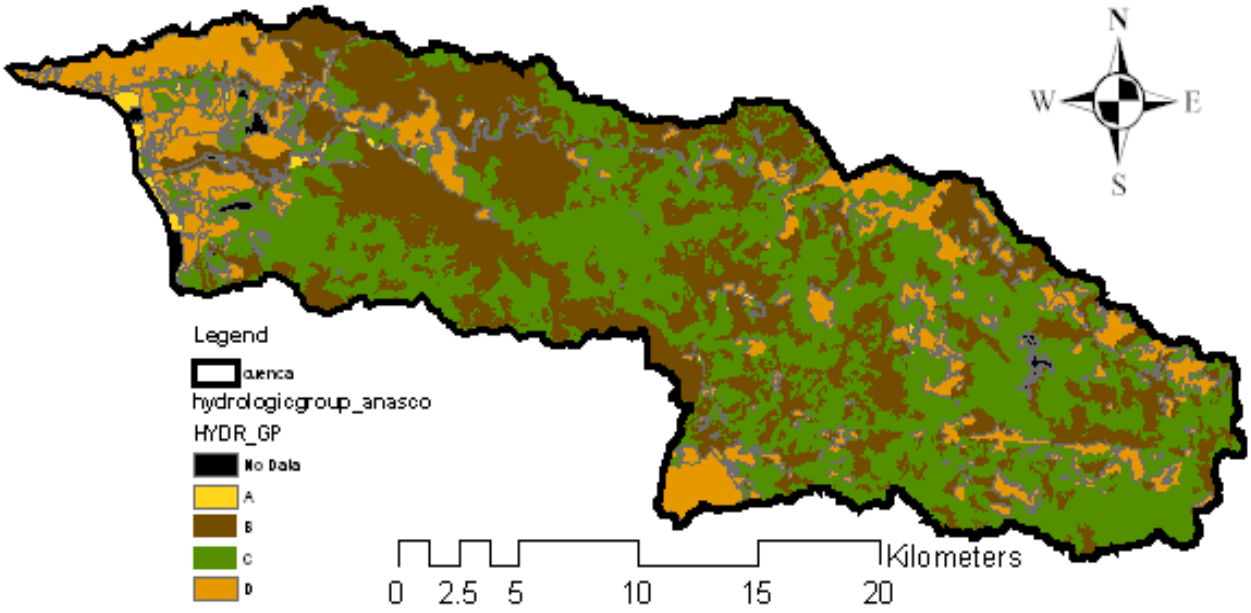


Figura 3.5 . Distribución de los grupos hidrológicos del suelo (Tomado de USDA, 1975)

3.8 Usos y cobertura del terreno

El mapa de usos y cobertura del terreno existente para el área de estudio es el que provee el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, el cual tiene información hasta 1977. PRWRERI desarrolló un mapa de usos de terreno de la cuenca del Río Grande de Añasco con datos del 2003, como respuesta a una solicitud de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico. En la Figura 3.6 se describen los principales usos de terreno en la cuenca y el mapa de usos del terreno se muestra en la Figura 3.7. El uso de suelo más predominante en la cuenca es el forestal con aproximadamente 314 km2. En la Tabla 3.1 se muestran los usos del suelo relacionados a la Curva Número (CN) para la cuenca del Río Grande de Añasco.

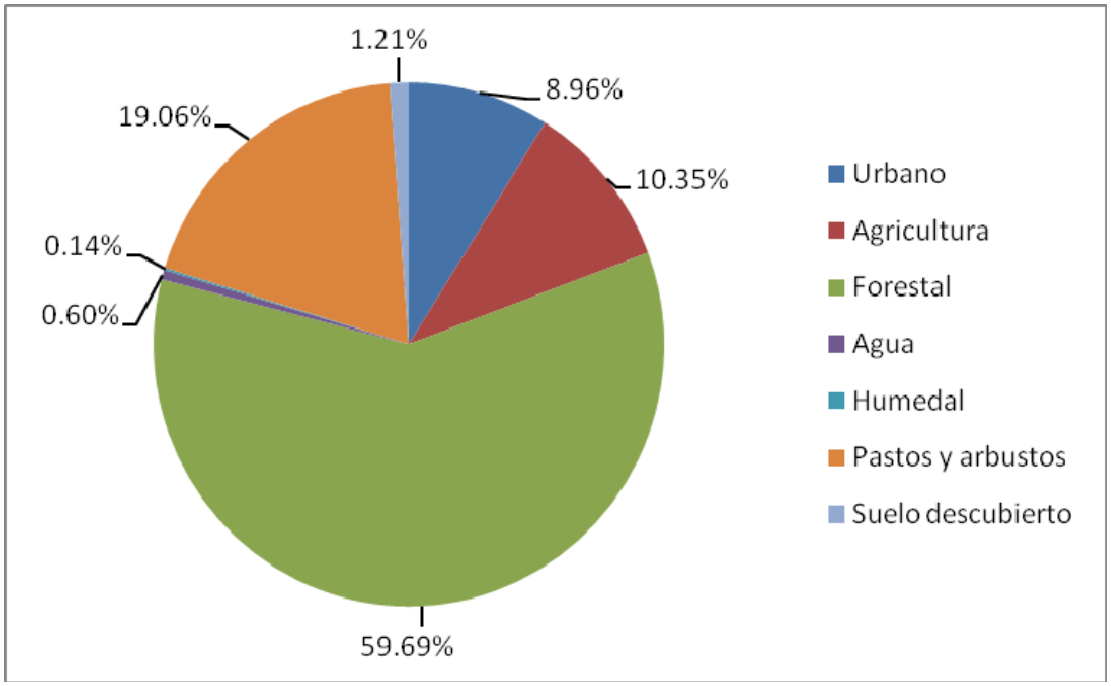
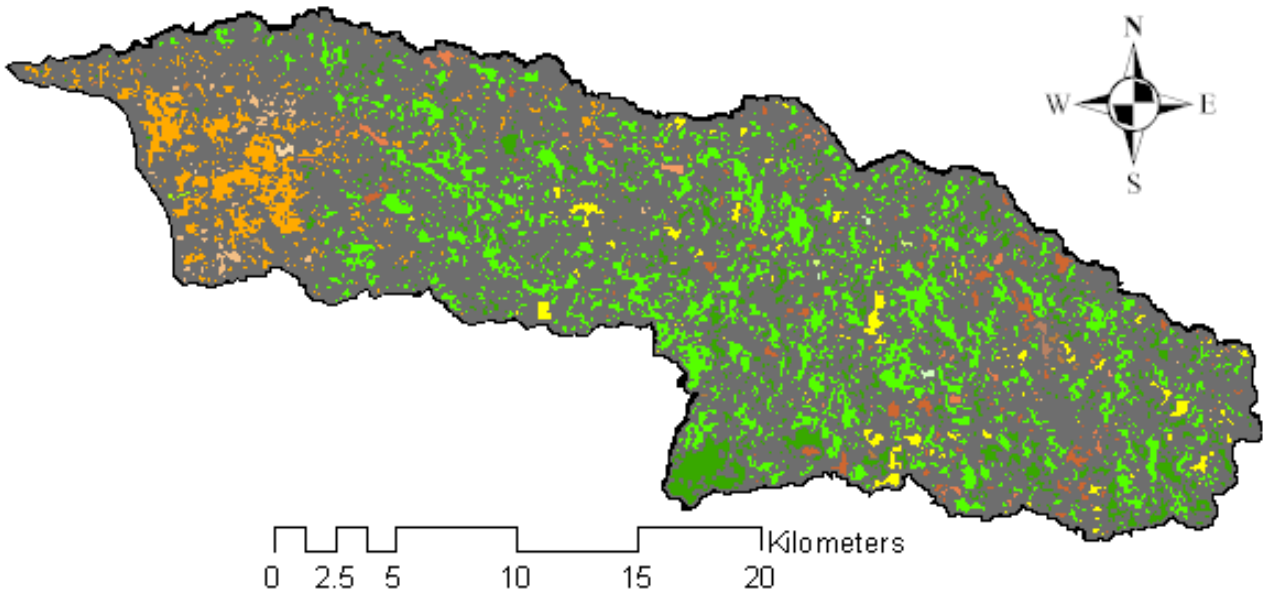


Figura 3.6 . Usos y coberturas del terreno en el Río Grande de Añasco, PRWRERI (2007)

3.9 Población

La población total censada en el año 2000 en la cuenca del Río Grande de Añasco era de 72,176 habitantes (PRWRERI, 2007). El municipio con la población más grande es Añasco con 28,322 personas, seguido por las Marías con 10,942 personas. En la Tabla 3.2 se describe el número de habitantes en cada municipio dentro de los límites de la cuenca.



Legend

- cuenca
- **Añasco_LU_2ndOrder_Clip**
- **SPANISH**
- Agricultura general
- Aguacate
- Arbustos y malezas
- Area de transicion
- Area de umbraculos o invernadero
- Area urbana
- Bosque alta densidad
- Bosque baja densidad
- Cafe
- Cafe platano/guineo, citricos
- Cafe, bajo sombra
- Cafe, citricos, platano/guineos
- Cafe, platano/guineo
- Charca
- Citricos
- Citricos, cafe
- Citricos, platano/guineo
- Citricos, platano/guineos, cafe
- Gravero
- Humedal boscoso
- Pastos no mejorados
- Platano/guineo
- Platano/guineo, cafe, citricos
- Platano/guineo, citricos
- Platano/guineo,cafe,
- Reservas de agua
- Rios y canales
- Suelo descubierto
- Transportacion y comunicacion
- Vaquerias o area de alimentacion
- Vertedero

Figura 3.7 . Mapa de usos del suelo (PRWRERI, 2007)

Tabla 3.1 Usos del suelo 2003 y CN.

ID[1]	Descripción	A	B	C	D
1	Área urbana	77	85	90	92
5	Charca	100	100	100	100
5	Reservas de agua	100	100	100	100
5	Ríos y canales	100	100	100	100
6	Humedal boscoso	78	78	78	78
7	Área de transición	63	77	85	88
7	Gravero	77	77	80	83
7	Suelo descubierto	63	77	85	88
12	Vertedero	85	85	90	92
14	Transportación y comunicación	77	85	90	92
22	Área de umbráculos o invernadero	65	76	84	88
24	Agricultura general	65	76	84	88
32	Arbustos y malezas	30	58	71	78
41	Bosque alta densidad	45	60	73	79
41	Bosque baja densidad	45	60	73	79
211	Café	65	76	84	88
211	Café, plátano/guineo, cítricos	65	76	84	88
211	Cítricos	65	76	84	88
211	Plátano/guinea	65	76	84	88
211	Plátano/guineo, café	76	76	84	88
212	Pastos no mejorados	49	69	79	84
242	Vaquerías o área de alimentación	79	79	79	79

(1) Sistema de clasificación de suelos de Anderson. (Anderson et al, 1976)

Tabla 3.2 Población en la Cuenca del Río Grande de Añasco.

Municipio	Población
Adjuntas	4,807
Añasco	28,322
Lares	5,963
Las Marías	10,942
Maricao	2,872
Mayagüez	15,226
San Sebastián	3,259
Yauco	783
Total	**72,174**

4 Metodología

A continuación se describen los pasos desarrollados para identificar las posibles áreas susceptibles a contaminación por coliformes fecales en la cuenca del Río Grande de Añasco, seguido de la calibración del modelo para coliformes fecales en dicha cuenca.

- Recopilar información de fuentes de coliformes fecales (CF) en la cuenca, tales como inventarios de actividades agrícolas, fincas porcinas y ganaderas entre otros. Adicionalmente, fotointerpretación de imágenes satelitales y aéreas. Estos Inventarios y análisis fueron realizados por PRWRERI.
- Definir las fuentes potenciales de contaminación fecal.
- Establecer las posibles rutas que tiene el contaminante para viajar desde su origen hasta los cuerpos de agua.
- Realizar un análisis de integración de capas basado en imágenes “raster” y vector con el empleo de **ArcMap 9.1**(2005).
- Reclasificar las capas con el fin de que todos tengan una escala común.
- Dar un peso a cada capa, con un porcentaje de influencia de cada capa y así definir un orden jerárquico en el análisis.
- Integrar las capas reclasificadas, y con ayuda de la herramienta “Raster Calculator” calcular el Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a

Contaminación Fecal (**IAPSCF**). Este cálculo se realiza con una ecuación previamente defina por Hernández-Pérez (2006).

A continuación se muestra el procedimiento para calibrar el modelo de coliformes fecales para la cuenca del Río Grande de Añasco.

- Crear un archivo con extensión **WDM**, con las series de tiempo de caudal y las concentraciones de coliformes fecales en el Río Grande de Añasco.
- Crear en el programa **BASINS** las capas de datos requeridas por **WinHSPF**. Tales como subcuencas, red de ríos, usos del terreno, puntos de salida, y clasificación hidrológica del suelo.
- En **WinHSPF** abrir el proyecto creado en el programa **BASINS** con la información de la cuenca y así establecer el esquemático de la cuenca creado por **WinHSPF**.
- Realizar un análisis de sensibilidad para parámetros hidrológicos, teniendo como principio parámetros reportados en trabajos previos.
- Calibrar el modelo para caudal, y luego realizar la validación.
- Desarrollar un análisis de sensibilidad para coliformes fecales, basado en valores reportados previamente.
- Calibrar el modelo para coliformes fecales y realizar la validación del mismo.

4.1 Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal (IAPSCF).

La ecuación empleada para determinar **IAPSCF**, está conformada por los siguientes parámetros:

$$\text{IAPSCF} = MT + RP - TEMP\,, \tag{4.1}$$

donde *MT* es la contribución debido a los mecanismos de transporte, conformado por las propiedades de infiltración, distancia de los ríos, y la pendiente del terreno; *RP* es la contribución debido la razón de producción de coliformes fecales de diferentes fuentes; *TEMP* es la contribución debido a la incidencia de la luz solar y el efecto de la temperatura.

IAPSCF identifica áreas propensas a contaminación fecal, debido a sus características físicas. Las áreas identificadas por el índice no representan necesariamente fuentes de contaminación, pero si áreas que potencialmente pueden llegar a serlo. Para efectos prácticos, estas áreas deben ser examinadas con el fin de encontrar fuentes de coliformes fecales. A continuación se describe el procedimiento para determinar los parámetros que involucra la ecuación del **IAPSCF.**

4.1.1 Descripción y desarrollo del SIG empleado

Los sistemas de información geográfica (SIG), son una herramienta ampliamente utilizada en la actualidad, pues permiten integrar datos geográficamente referenciados, con el fin de realizar análisis más precisos en la planeación y manejo de los recursos naturales.

Los SIG emplean datos geoespaciales, tales como mapas digitalizados, imágenes de satélite, fotografías aéreas entre otros. Para la elaboración del presente proyecto se empleo **ArcMap 9.1** (2005), el cual cuenta con la herramienta "ArcGis Spatial Analyst,", la cual permite extraer información nueva a partir de datos existentes y construir análisis basados en imágenes "raster/vector" de manera integrada.

4.1.2 Descripción de datos empleados

El Instituto de Recursos de Agua y el Ambiente de Puerto Rico realizó un inventario de usos y cobertura del terreno mediante fotointerpretación de fotos aéreas, clasificación supervisada de imágenes de LANDSAT y rectificadas con visitas de campo (PRWRERI, 2007). La información recopilada fue procesada y analizada en **ArcMap.** Esta información se empleó para identificar las posibles fuentes de coliformes fecales. Adicionalmente se empleo información existente de tipos de suelo, modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), población censada, hidrografía, y fotografías aéreas del área de estudio. En la Tabla 4.1 se muestran los datos requeridos para el presente análisis.

Tabla 4.1 Fuentes de información y datos requeridos

Datos Requeridos	Depositario	Descripción
Modelos de Elevación Digital (DEM)	U.S. Geological Survey	Mapa topográfico de 30 metros de resolución. Empleado para delineación de cuencas y desarrollo de modelos.
Archivo RF3 Alpha	U.S. EPA	Contiene información detallada de la red de ríos.
Usos y cobertura del terreno	PRWRERI	Clasificación del suelo de acuerdo al uso y cobertura.
Base de datos de suelos (SSURRGO)	USDA, Natural Resources Conservation Services (NRCS)	Información de las clases de suelos y grupos hidrológicos del suelo.
Censo demográfico por bloques (SF1)	Census US Bureau	Censo poblacional por bloques 2000. Número de casas y habitantes.
Información de calidad de agua	U.S. Geological Survey	Ubicación de estaciones de calidad de agua para corroborar la localización de las posibles fuentes de CF.

De igual manera se emplearon inventarios existentes de escuelas, iglesias, centros comunitarios y un listado de industrias en el área, ya que estas son fuentes potenciales de contaminación fecal, ya que muchas de ellas emplean pozos sépticos en sus facilidades.

La información del censo poblacional por bloques (U.S. Department of Commerce, 2000) fue analizada y manipulada, para establecer los datos correspondientes a la cuenca en estudio. Los bloques censados interceptados por los límites de la cuenca fueron corregidos, con el fin de tener un valor real de la población de la cuenca. Para este fin se empleó el censo y fotografías aéreas, los cuales permiten identificar las estructuras que están fuera de la

cuenca. El número de habitantes en la cuenca es empleado para determinar el aporte de coliformes fecales de origen humano a la cuenca.

4.1.3 Mecanismos de transporte para coliformes fecales

El “Spatial Analyst” de ArcMap, permite crear un conjunto de datos que integre los factores que afectan el transporte de los coliformes fecales, asignando niveles de importancia a cada factor involucrado. Para este estudio se identificaron cuatro factores determinantes, los cuales son: distancia entre las fuentes de coliformes fecales y los cuerpos de agua, distancia existente entre las fuentes de coliformes fecales, coeficiente de escorrentía (número de curva, CN) y dirección del flujo dentro de la cuenca. Cada capa fue reclasificada y se le asigno un peso de importancia. En la Tabla 4.2 se muestra en detalle los componentes del conjunto de datos de mecanismos de transporte, y los valores asignados para cada componente. Se asignaron valores altos para aquellos atributos que se consideran más críticos en cada conjunto de datos. El criterio para asignar dichos pesos está basado en el trabajo de Hernández-Pérez (2006). Se ha encontrado que el 90% de los coliformes fecales son removidos cuando se presentan eventos de lluvia sin considerar la infiltración en el terreno (Hyer y Moyer, 2003). Por tal razón se asigno un peso más alto al número de curva, puesto que esta determina el potencial de escorrentía que tienen los suelos, de acuerdo a la teoría del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés).

Tabla 4.2 Parámetros seleccionados para el análisis de mecanismos de transporte

Capas temáticas	Radio de búsqueda (m)	Escala de reclasificación (0-10)	Nombre asignado	Peso de importancia
Número de curva (NC)		Valor CN alto = 10	CN	0.3
Dirección del flujo		Valores bajos = 10	FLOWD	0.2
Fuentes distribuidas	2,000	Cercanía de la fuente = 10	FUENTES	0.2
Ríos y quebradas	1,200	Cercanía del río = 10	RÍOS	0.3
			Total de pesos asignados	1.0

4.1.3.1 Distancia desde la fuente hasta el río

Para crear una función de distancia en **ArcMap 9.1** de las fuentes hacia el río se debe construir una grilla que represente la ruta de menor resistencia de los coliformes fecales en la cuenca. Esta grilla de rutas de menor resistencia está integrada por las capas de CN para los suelos, dirección del flujo, las fuentes de coliformes fecales, y la red de ríos.

Dichas capas son reclasificadas de acuerdo a las propiedades hidráulicas e hidrológicas de la cuenca. Para este fin se establece una escala común para las capas de datos y así poder definir cuáles son los factores que contribuyen en mayor proporción al transporte de los coliformes fecales. Luego de reclasificar los conjuntos de datos, se asigna un peso de influencia a cada uno. Para este caso se asignó el mismo peso de importancia con la función “Cost Weighted” de **ArcMap 9.1**.

Con la integración del número de curva, dirección del flujo, fuentes de coliformes fecales y la red de ríos, se construye el “raster” de rutas de menor resistencia (Figura 4.1). En la

Tabla 4.3 se muestran los parámetros seleccionados para la construcción de dicho “raster”.

Tabla 4.3 Parámetros seleccionados- grilla de rutas de menor resistencia

Parámetros	**Radio de Búsqueda (m)**	**Preferencias de Reclasificación (0-1)**	**Porcentaje de influencia (peso)**
Número de curva		Valores altos = 1	0.25
Dirección del flujo		Valores bajos = 1	0.25
Fuentes distribuidas	2,000	Cerca de la fuente = 1	0.25
Ríos y quebradas	1,200	Cerca a otros ríos = 1	0.25
		Total	1.0

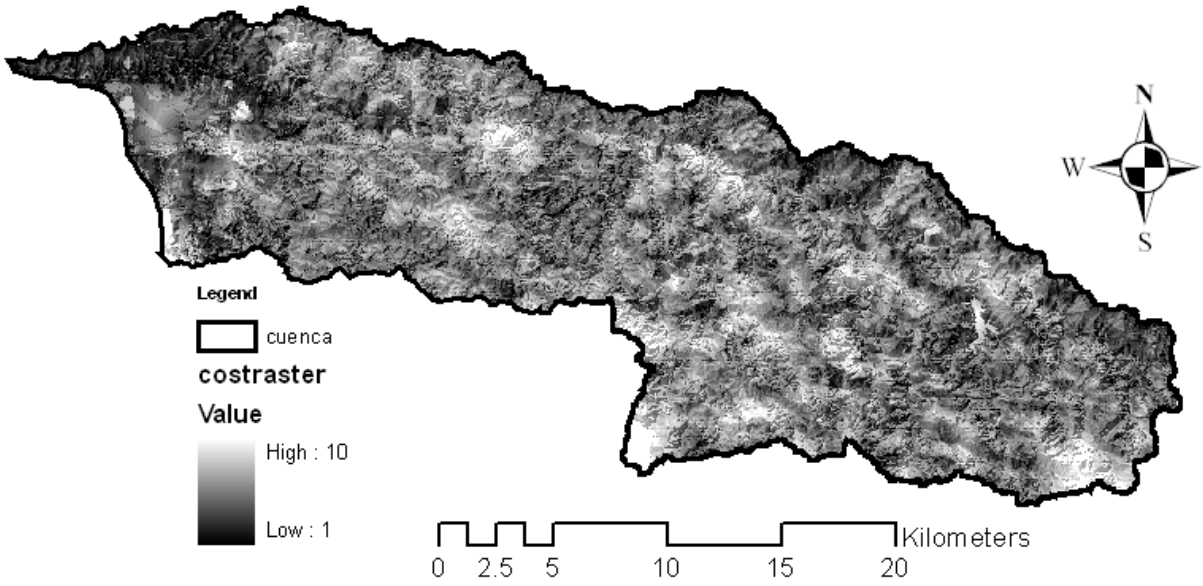


Figura 4.1 Rutas de menor resistencia.

Empleando el raster de rutas de menor resistencia y las fuentes de coliformes fecales, la función “Cost Distance”, genera un “raster” en el que a cada celda se le asigna un valor que corresponde al último valor de resistencia acumulada, que se obtiene regresando desde la fuente. En la Figura 4.2 se muestran las rutas de viaje preferenciales (rutas más cortas) para viajar de la fuente a los cuerpos de agua.

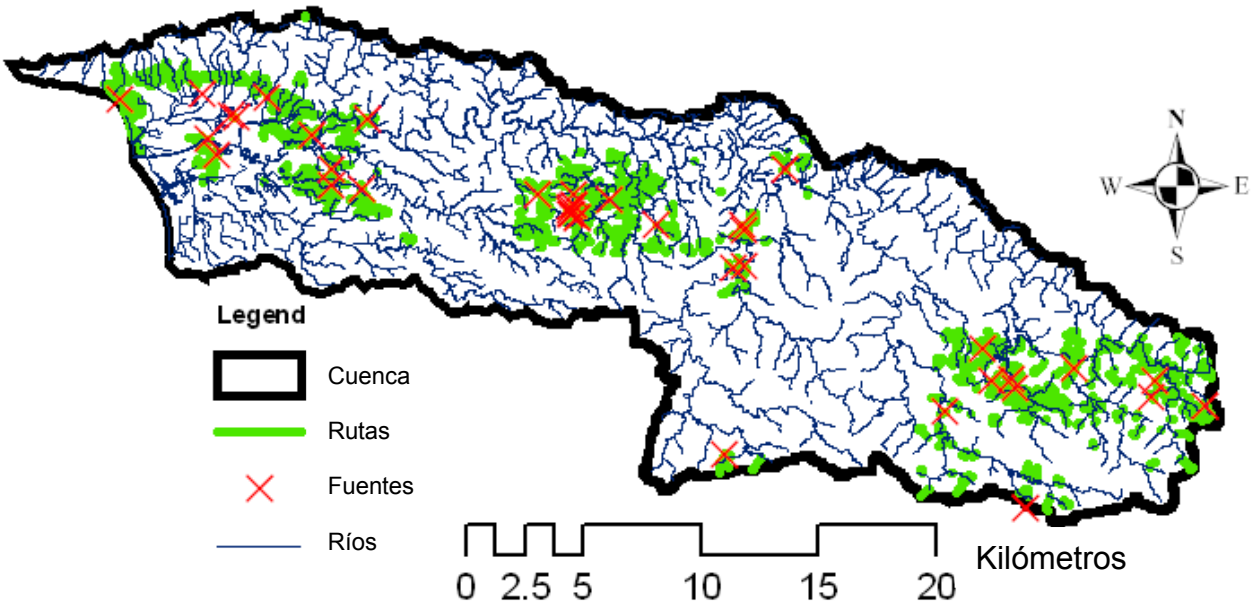


Figura 4.2 Rutas más cortas de viaje de coliformes fecales en la Cuenca del Río Grande de Añasco.

4.1.3.2 Coeficiente de escorrentía, CN

El coeficiente de escorrentía calculado para la cuenca fue el número curva como se muestra en la Figura 4.3, en el cual los valores varían en una

escala de 1 a 100; siendo 1 suelos con menor capacidad de producir escorrentía y viceversa.

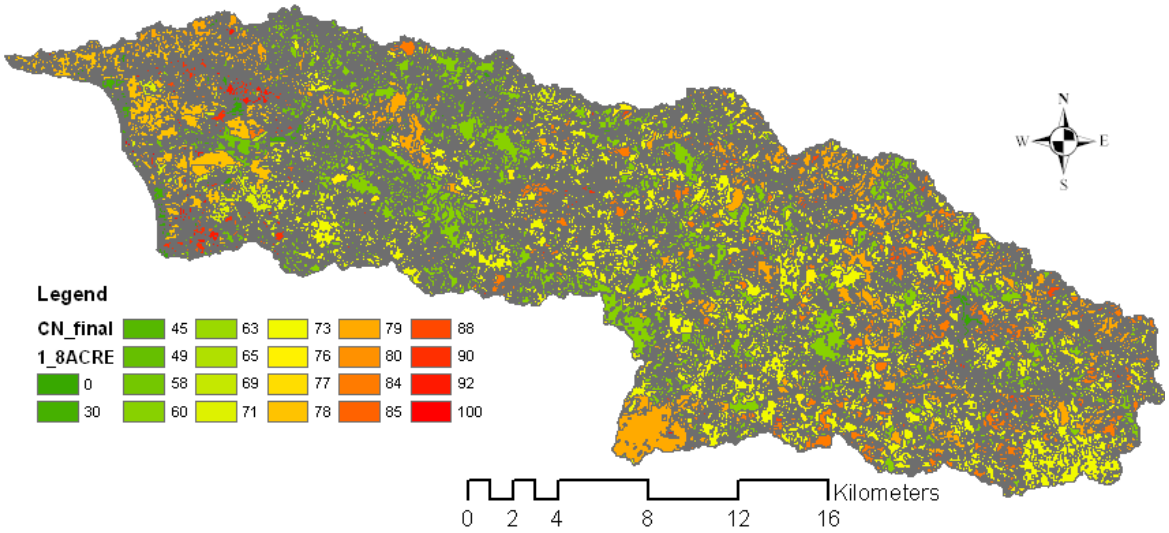


Figura 4.3 Número de Curva.

4.1.3.3 Dirección del flujo

La función de dirección de flujo de **ArcMap**, permite calcular el rumbo que va a tomar el flujo dentro de la cuenca dependiendo de las elevaciones del terreno y la orientación de la pendiente. Esta función es calculada usando el cambio de elevación en una distancia conocida. La dirección del flujo de cada celda se calculó utilizando el DEM, por el método presentado por Jenson y Domingue (1988). La dirección de flujo resultante es una grilla integrada cuyos valores se encuentran en un rango de 1 a 255. En la Figura 4.4 se enseña la

dirección del flujo calculada para la cuenca del Río Grande de Añasco en una imagen “raster”.

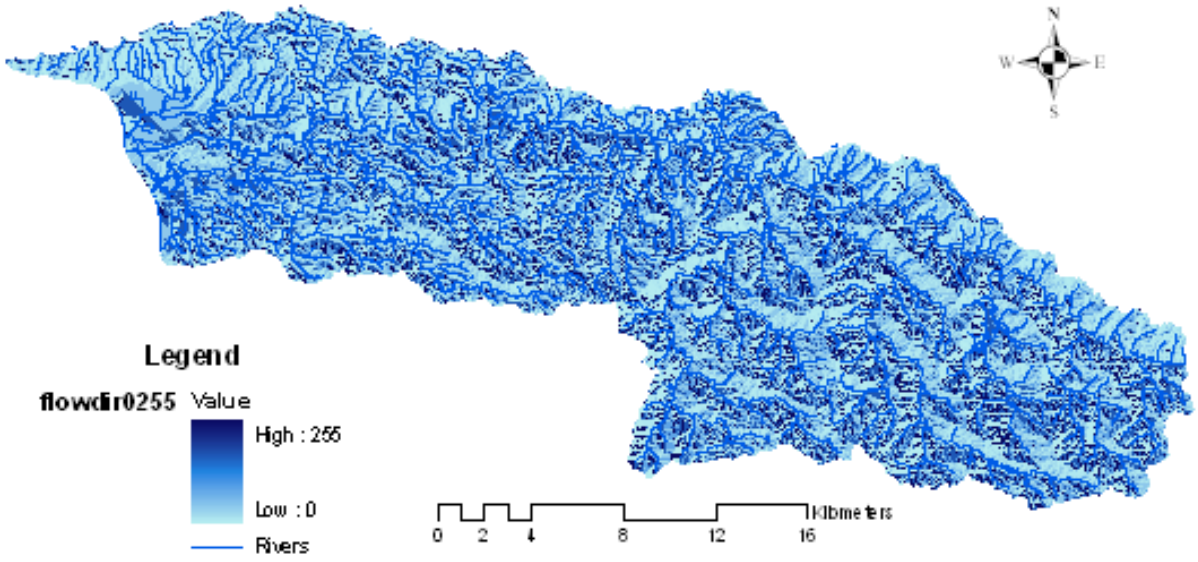


Figura 4.4 Dirección del flujo

4.1.3.4 Distancia entre las fuentes

Las fuentes de coliformes fecales utilizadas en este estudio fueron determinadas con visitas de campo (PRWRERI, 2007), donde se identificaron posibles fuentes de contaminación fecal en la cuenca. Las fuentes identificas en campo están conformadas por fincas porcinas, vaquerías, industrias avícolas, entre otros. Adicionalmente se estimó el número de pozos sépticos y de zonas con alcantarillado empleando imágenes satelitales. Con estas fuentes se identificaron en qué áreas se presentan mayor densidad de coliformes fecales en la cuenca con el fin de determinar potenciales focos de acumulación de

coliformes fecales. En la Figura 4.5 se observa la densidad, que representa la distancia entre las fuentes en el “raster” de mecanismos de transporte.

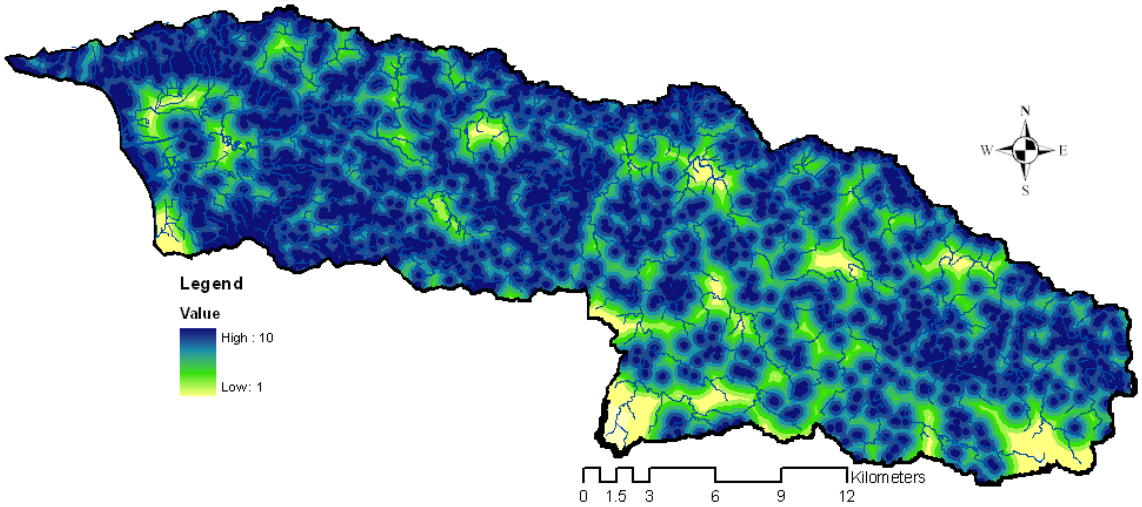


Figura 4.5 Densidad de fuentes de coliformes fecales

Integrando la distancia entre las fuentes y los ríos (Figura 4.2), el número de curva (Figura 4.3), la dirección del flujo (Figura 4.4) y la densidad de las fuentes de coliformes fecales en la cuenca (Figura 4.5), todos debidamente reclasificados (escala de 1 a 10) y con pesos de importancia asignados se construye la capa de mecanismos de transporte (Figura 4.6), cuyos valores se encuentran en un rango de 1 a 10, donde 1 representa menor posibilidad de transporte de coliformes fecales y 10 la mayor posibilidad.

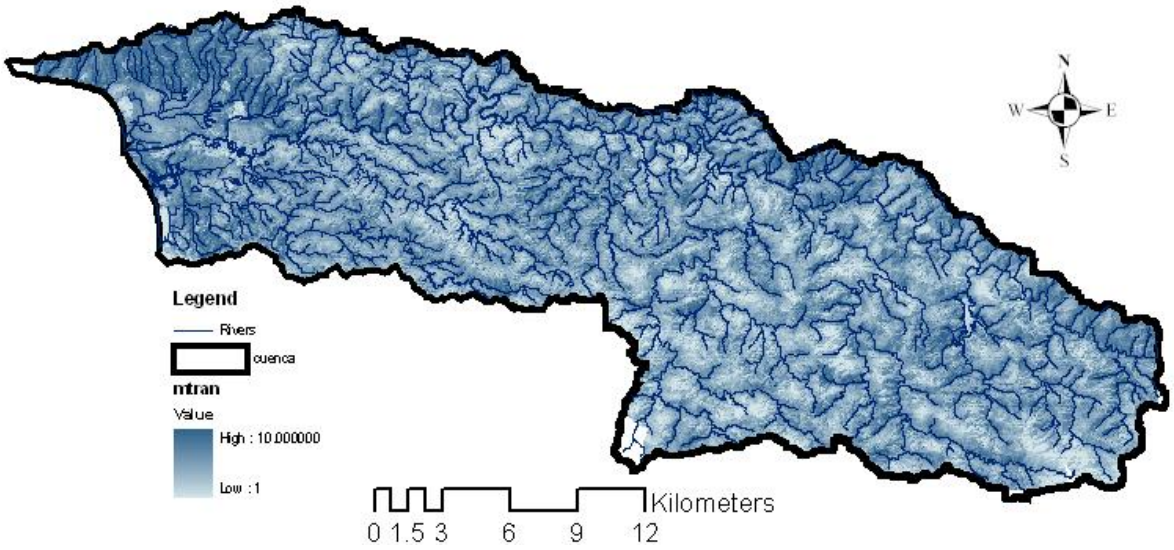


Figura 4.6 Mecanismos de transporte.

4.1.4 Producción de coliformes fecales

Para este proyecto se consideró que la contribución de coliformes fecales es de origen humano, y animal. Se presume que la contribución humana a la contaminación fecal se debe a fallas en los pozos sépticos y tuberías de aguas servidas. La contribución humana se calculó con el número de pozos sépticos estimado en la cuenca, el número de usuarios en promedio por cada pozo y la razón de falla de los pozos y de las tuberías que presentan fugas. La siguiente ecuación describe la carga de coliformes fecales estimada en Unidades Formadoras de Colonia (UFC):

$$\text{Carga} = P \times S \times RF \times CCF \times Q, \qquad (4.2)$$

donde P es el número de personas por pozo séptico, S el número de pozos en la cuenca, RF es la razón de falla de los pozos (0-100%), CCF es la

concentración de coliformes fecales en el agua residual, y *Q* es la descarga diaria de agua residual por persona.

El número de usuarios por pozo séptico se estimó a partir de la relación entre la población total y el número de pozos sépticos. Para esto el censo por bloques se cambio a forma de punto utilizando el centroide de cada polígono, y asignado coordenadas X – Y en “State Plane Datum” NAD 1983. En la columna de población se corrigió el número de habitantes en los bloques interceptados por las fronteras de la cuenca, ya que algunas estructuras están parcialmente en la cuenca. Se consideró un estimado para la razón de falla de los pozos sépticos del 70% (U.S. EPA, 2004), y se presume que cada persona descarga 265 litros de agua residual por día. (U.S. EPA, 2005).

La producción de coliformes fecales por cada fuente se estimo a base de valores reportados en la literatura. Por ejemplo, una persona genera 150 gr. de heces fecales por día (Geldreich et al, 1962), y un estimado de 4.66×10^8 col/g de coliformes fecales (Mara y Oragui, 1981). Un perro genera 450 g de heces fecales (Weiskel et al., 1996) y un estimado de 4.11×10^6 col/g de coliformes fecales (Mara y Oragui, 1981) El número de perros en la cuenca se calculó, con la relación de un perro por cada cuatro personas, de acuerdo al trabajo de Hernández-Pérez (2006). El número de gatos con una relación de dos gatos por cada tres personas. Un gato genera 20 g de heces fecales al día, y 1.49×10^7 col/g de coliformes fecales (Mara y Oragui, 1981). En la Tabla 4.4 se muestra la

producción de coliformes fecales relacionada a otro tipo de fuentes en la cuenca del Río Grande de Añasco.

Tabla 4.4 Producción de coliformes fecales por cada tipo de fuente en la cuenca del Río Grande de Añasco.

Fuente	Producción promedio de heces diaria (g)	Coliformes Fecales (Colonias/g de heces)*	Población	Área (acres)	CFD (colonias/acre/día)
Ganado	54,545	8.18×10^5	350	350	8.92E+10
Pollos/gallinas	28	1.82×10^5	42,000	0.25	1.44E+11
Perros	450	4.11×10^6	32,221	97,035.03	1.05E+15
Gatos	20	1.49×10^7	116,541	97,035.03	4.51E+14
Cerdos	600	1.08×10^5	1611	10	1.11E+12
Humanos	150	4.66×10^8	72,174	97,035.03	1.59E+17

* Valores tomados de Hernández-Pérez (2006).

Los coliformes fecales depositados (CDF) por cada fuente en la superficie del terreno para este proyecto se calculan con la siguiente ecuación:

$$CFD = \frac{(HPROD * COLCF)POB}{HAB}, \qquad (4.3)$$

donde CFD está dado en (colonias/acre/día); *HPROD* son las heces fecales producidas por día (g/día/Per capita); *COLCF* es el número de coliformes fecales por gramo de heces producidas (col/g); *POB* es el tamaño de la población; y *HAB* es el área del hábitat (acres). (Hernández-Pérez, 2006)

Tras realizar los cálculos para cada tipo de fuente se construyó una tabla en formato dbase llamada FCB_INDEX.DBF con los valores de CFD, y de

población del censo. Luego ésta tabla fue exportada a ArcMap para desarrollar un análisis con la función de densidad. El formato de la tabla se observa en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Formato dbf para el índice de Coliformes fecales

Nombre del campo	Formato del campo	Descripción
ID	Número, 0 decimales	Número de identificación
X	Número, 8 decimales	Coordenadas X de Lambert Conformal Conic (NAD 1983, State Plane PR/VI)
Y	Número, 8 decimales	Coordenadas Y de Lambert Conformal Conic (NAD 1983, State Plane PR/VI)
HPROD	Número, 0 decimales	Heces producidas por día en gramos
COLCF	Número, 4 decimales	Coliformes fecales por gramo de heces
ÁREA	Número, 4 decimales	Área de polígonos en metros
POB	Número, 0 decimales	Tamaño de la población
HAB	Número, 9 decimales	Área del Hábitat en acres
FUENTE	Texto	Tipo de fuente de coliformes fecales

Luego de calcular CFD se realizó un análisis de densidad de superficies en **ArcMap,** para obtener la razón de producción de coliformes fecales (RP) en la cuenca del Río Grande Añasco. Ésta función es útil para determinar la dispersión sobre la región de las fuentes de coliformes fecales que están representadas en forma de punto. Los puntos que caen dentro del área de búsqueda son sumados con respecto al atributo deseado (para este estudio CFD) y luego divididos por el área de búsqueda. Como respuesta a este procedimiento se obtiene una imagen “raster”, que puede variar de acuerdo al radio de búsqueda seleccionado. En la Figura 4.7 se observa el “raster” con la densidad de producción CF en la cuenca con un radio de búsqueda de 2000

metros. El “raster” de densidad de producción fue normalizado a una escala de 1 a 10, para ser utilizado en la construcción del “raster” de mecanismos de transporte. Valores bajos representan menor densidad de coliformes fecales en el radio de búsqueda y viceversa.

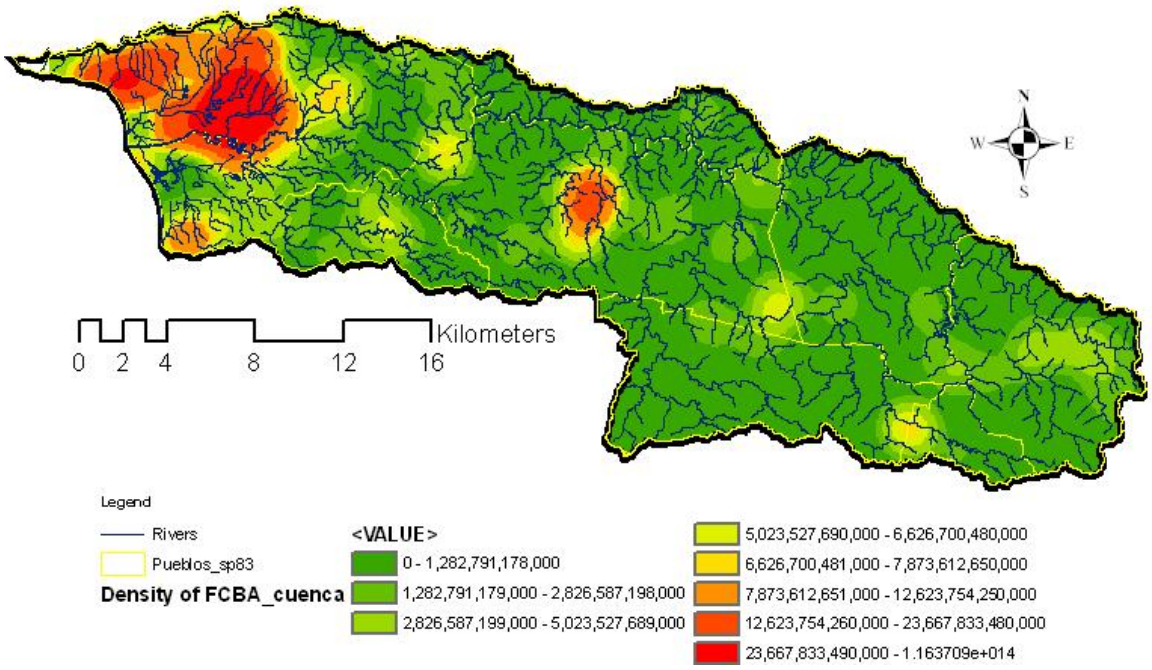


Figura 4.7 Densidad de producción de coliformes fecales en la cuenca con un radio de búsqueda de 2000 m.

4.1.5 Temperatura

En diferentes investigaciones se ha estudiado los efectos de la temperatura en los coliformes fecales (Gameson y Gould, 1974). La temperatura está directamente relacionada con la incidencia de la radiación solar en la superficie terrestre. Temperaturas altas son asociadas a lugares donde no hay

sombra o es escasa. Por ejemplo, en zonas montañosas se espera que por efecto de la sombra, la vegetación y la topografía, las temperaturas en la superficie del terreno sean menores y, por lo contrario, en terrenos planos se espera que la temperatura sea mayor debido a que la incidencia solar es continua a lo largo del día. Este principio fue utilizado en este estudio para determinar la influencia de la temperatura en los coliformes fecales (Figura 4.8). **ArcMap** permite analizar este efecto por medio de la función “hill shade”, configurando la inclinación de los rayos solares y el azimut, para el medio día, que es el momento del día con más incidencia solar y por ende con mayor temperatura en la superficie del terreno. La función “hill shade” presenta las áreas con mayor incidencia de la sombra y por ende menor efecto de la temperatura, y viceversa. Por esta razón se asocio directamente este efecto de sombra al índice como un indicador de temperatura.

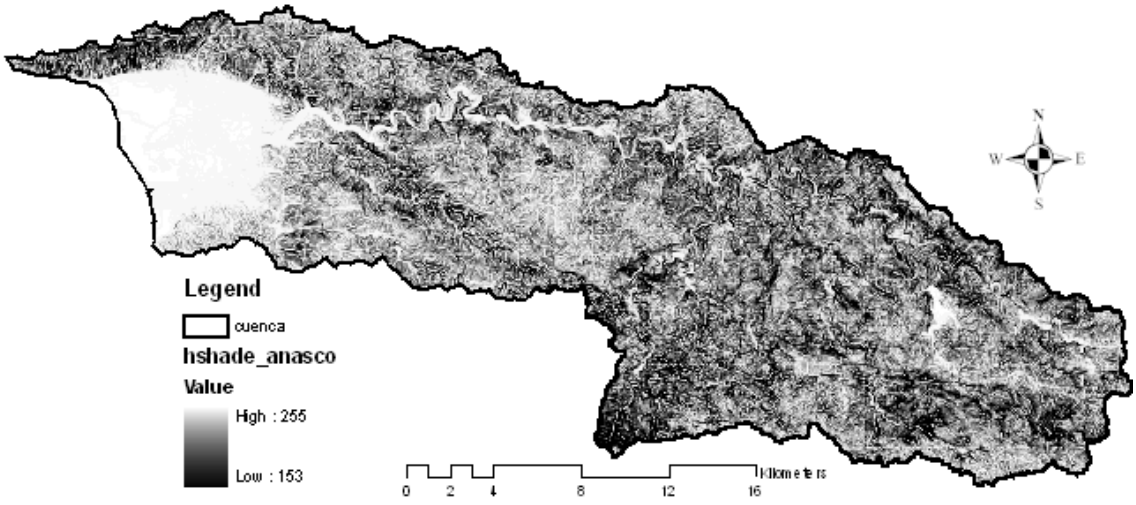


Figura 4.8 Influencia de la radiación solar en la cuenca.

4.2 Modelo de transporte y destino de Coliformes Fecales

El modelo de transporte y destino de coliformes fecales para la cuenca del Río Grande de Añasco, se desarrollo empleando el modelo de simulación hidrológica **HSPF** (Hydrologic Simulation Program Fortran) versión 12.2. **HSPF** se encuentra incluido en **BASINS** (U.S. EPA, 2004). **BASINS** es un sistema de análisis ambiental desarrollado por la EPA, que utiliza sistemas de información geográfica. Este cuenta con una interfase gráfica, que permite crear los archivos de entrada para **HSPF**. El archivo principal que puede ser creado en **BASINS** es el archivo de control del usuario (UCI, por sus siglas en inglés), el cual contiene las características físicas de la cuenca, tales como usos del terreno, red de ríos, entre otros, los parámetros de simulación, y las especificaciones de control empleadas en la simulación hidrológica.

HSPF simula la escorrentía de la zona permeable e impermeable de la cuenca y el flujo del canal del río teniendo en cuenta los componentes hidrológicos que se enseñan en la Figura 4.9 Componentes hidrologicos en HSPF

HSPF calcula la mortandad de las bacterias utilizando una decadencia exponencial de primer orden. La ecuación es como sigue:

$$N_t = N_0 \, 10^{-k\,t} \,, \qquad (4.1)$$

donde N_t es el número de bacterias coliformes a tiempo t, N_0 es el número de bacterias coliformes al inicio del tiempo y k es la razón de degradación de primer orden (representada por el parámetro *FSTDEC* en **HSPF**). La mayoría de los

procesos biológicos son acelerados con aumentos de temperatura y desacelerados con disminución de temperatura. Para tomar en cuenta este fenómeno, HSPF corrige la constante de la razón de primer orden de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$k_T = k_{TB} (\theta)^{T-TB}, \qquad (4.2)$$

donde k_T es la constante de la razón de degradación de primer orden corregida a temperatura T, k_{TB} es la constante de la razón de degradación de primer orden a la temperatura base TB, usualmente a 20º y θ es el coeficiente de corrección de temperatura (representado por el parámetro *THFST* en **HSPF**).

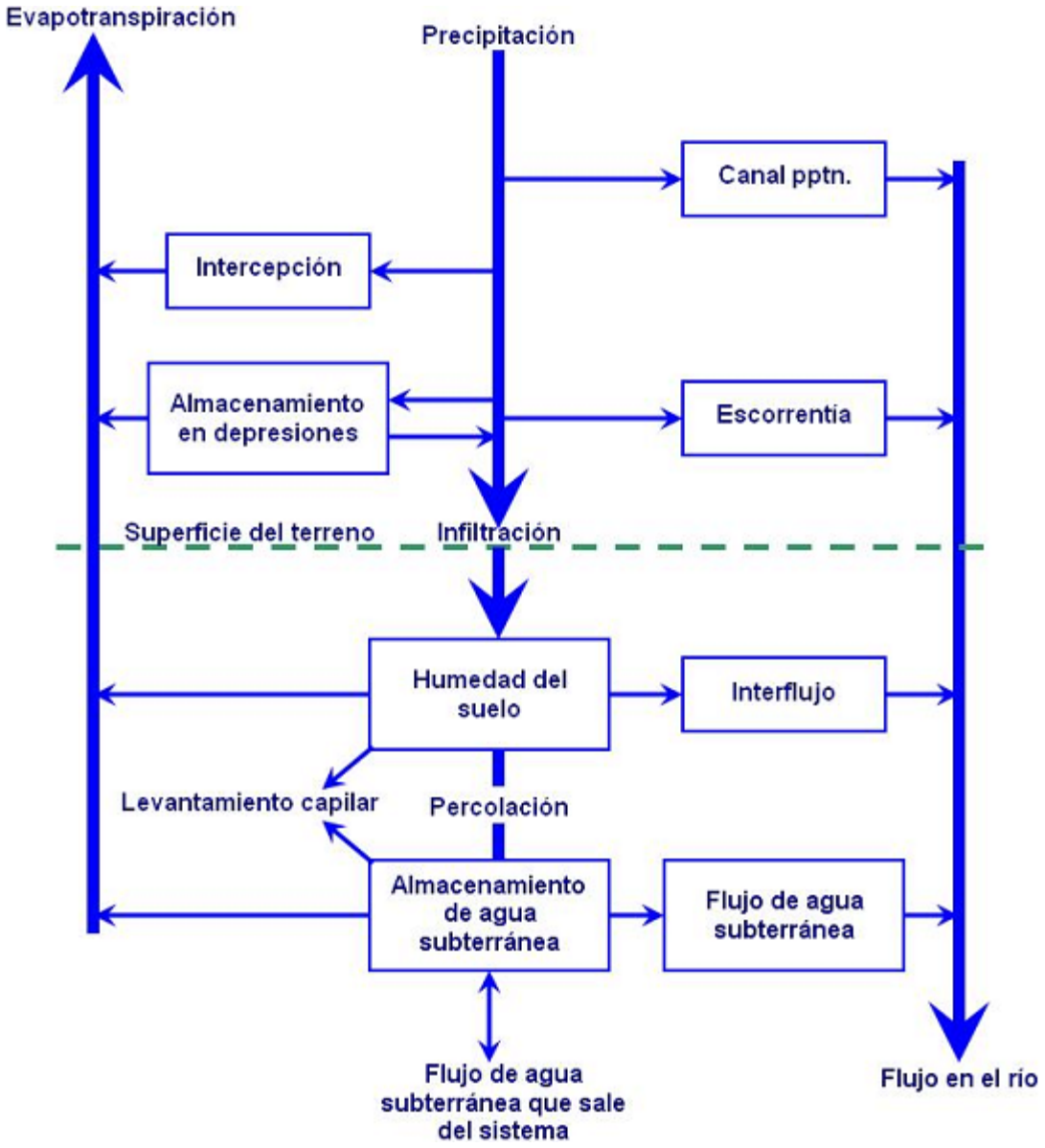
Para calcular la contribución del coliformes fecales del terreno hacia el río se utiliza la siguiente ecuación:

$$SOQO = SQO\ [\ 1.0 - e^{(-SURO \times WSFAC)}], \qquad (4.3)$$

donde *SOQO* representa el lavado de coliformes fecales en el terreno (UFC/acre/día), *SQO* el almacenamiento de coliformes fecales en la superficie (UFC/acre), *SURO* el flujo de salida de agua superficial (pulgadas/día) y *WSFAC* la sensibilidad del constituyente al lavado (día/pulgada).

El almacenamiento de coliformes fecales es calculado usando la siguiente ecuación:

$$SQO = ACQOP + SQOS\ (1 - REMQOP) \qquad (4.4)$$



Adaptada de Aqua Terra Consultants (2004d)

Figura 4.9 Componentes hidrologicos en HSPF

Donde *ACQOP* es la razón de acumulación de coliformes fecales (UFC/acre/día), *SQOS* es *SQO* al comienzo del día y *REMQOP* es la razón de

remoción unitaria de los coliformes fecales acumulados. *REMQOP* es calculado como:

$$REMQOP = \frac{ACQOP}{SQOLIM}, \tag{4.5}$$

donde *SQOLIM* es el límite asintótico de *SQO (*almacenamiento de coliformes fecales en la superficie), que con el tiempo tiende a infinito (UFC/acre), esto es si no ocurre lavado anterior.

Y *WSFAC* es determinado por

$$\boldsymbol{WSFAC} = \frac{2-30}{\boldsymbol{WSQOP}} \tag{4.6}$$

donde *WSQOP* es la razón de escorrentía superficial que resulta en el 90% de lavado en una hora (pulgadas/hora).

En el proceso de calibración de coliformes fecales se recomienda ajustar los parámetros *ACQOP*, *SQOLIM*, *FSTDEC* (Bicknell et al, 1996) ya que estos presentan mayor sensibilidad. *ACQOP* calcula la razón de acumulación, *SQOLIM* los límites de almacenamiento, y *FSTDEC* el coeficiente de decaimiento en primer orden.

Por otra parte, se crearon dos archivos con las series de tiempo de los datos hidrometeorológicos requeridos por el modelo, de las estaciones disponibles dentro del área de estudio. Un archivo de éstos contiene los datos de precipitación y evapotranspiración empleados para la simulación, y el otro las

series de tiempo de flujo y concentración de coliformes fecales, para comparar y calibrar los resultados arrojados por el modelo. Estos archivos fueron creados en el programa **WDMUtil** (Wathersehd Data Management) versión 2.27 (Aqua Terra Consultants, 2004a), el cual permite crear las series de tiempo en el formato que requiere **HSPF**.

Luego de correr el modelo HSPF, los resultados fueron observados en **GenScn** Versión 2.3 (Aqua Terra Consultants, 2001). Este programa permite analizar los datos observados junto a los simulados por **HSPF**, para así realizar la calibración y validación del modelo.

4.2.1 Construcción del modelo

En primer lugar se establecieron los archivos de entrada para el modelo, que consisten en las coberturas de las características físicas de la cuenca y las series de tiempo con los datos de flujo y calidad de agua.

Las coberturas empleadas para definir el área de estudio en **BASINS** Fueron cinco: red de ríos, usos del suelo, clasificación hidrológica de los suelos, puntos de salida, y subcuencas.

Las series de tiempo construidas en **WDM**, consisten en datos de lluvia horaria y de flujo diario para la simulación y calibración hidrológica respectivamente, y concentraciones de coliformes fecales para la calibración de los mismos.

4.2.1.1 Delineación de subcuencas

Para definir las subcuencas, se establecieron como puntos de salida, las tres estaciones de calidad presentes en la cuenca. Estas estaciones pertenecen al US Geological Survey (USGS, 2004). En la Tabla 4.6 se enseña el número de identificación, nombre y ubicación de estas estaciones.

Tabla 4.6 Estaciones de calidad de agua operadas por el USGS.

Nombre de la estación	Latitud	Longitud
USGS 50143000 Río Grande de Añasco cerca a Lares, PR	18°15'28"	66°55'05"
USGS 50144000 Río Grande de Añasco cerca a San Sebastián, PR	18°17'05"	67°03'05"
USGS 50146000 Río Grande de Añasco en Añasco, PR	18°16'31"	67°07'37"

La delineación se realizó en **ArcMap 9.1**, con la herramienta **ArcHydro**. Se ha demostrado que esta herramienta es útil en el modelamiento hidrológico (ArcMap, 2005), ya que permite realizar análisis de drenaje en modelos de terreno, y derivar varias coberturas que en conjunto describen los patrones de drenaje de una cuenca.

Con el fin de generar las subcuencas, fue necesario realizar un pre-procesamiento del terreno, el cual consiste en un análisis "raster", que emplea el DEM de la cuenca, para generar las coberturas con dirección y acumulación del flujo, definición y segmentación de los ríos entre otros. Luego se procedió a delinear las subcuencas, empleando los resultados del pre-procesamiento del terreno y los puntos de salida deseados, que para este caso son los descritos en la Tabla 4.6. En la Figura 4.10 se muestra la cuenca y subcuencas definidas

para el modelo. El procedimiento detallado para delinear subcuencas con **ArcHydro** se encuentra en el tutorial del mismo (ArcMap, 2005).

Las subcuencas para este proyecto se identifican con el nombre de USGS_3000, USGS_4000 y USGS_6000. El área total de la cuenca es 316.5 Km^2. La subcuenca USGS_3000 tiene un área de 74.297 Km^2, la USGS_4000 176.067 Km^2 y la USGS_6000 un área de 66.130 Km2.

La parte superior de la cuenca del Río Grande de Añasco contiene tres represas las cuales interceptan las escorrentías y las desvían hacia la cuenca del Río Yauco en la vertiente sur de la isla. Por lo tanto el área de captación correspondiente a estas represas no se incluyo en el modelo de **HSPF**. Esta misma presunción fue realizada por Prieto (2007).

Las propiedades morfológicas de la cuenca, fueron definidas con **ArcHydro**. La red de ríos se redujo al canal principal del río, como se observa en la Figura 4.10, debido a los requerimientos de **HSPF**.

4.2.1.2 Definición de usos y cobertura del suelo para HSPF

Los usos del suelo para la cuenca completa del Río Grande de Añasco se muestran en la Figura 3.7. Como se mencionó anteriormente, esta clasificación de suelos pertenece al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (PR Department of Natural and Environmental Resources, 1977). Sin embargo PRWRERI desarrollo una actualización a este mapa mediante fotointerpretación y trabajo de campo en el año 2003 (PRWRERI, 2007). En la

Figura 4.11 se muestra la clasificación de usos del suelo de la cuenca que se utilizó en el modelo HSPF de este estudio.

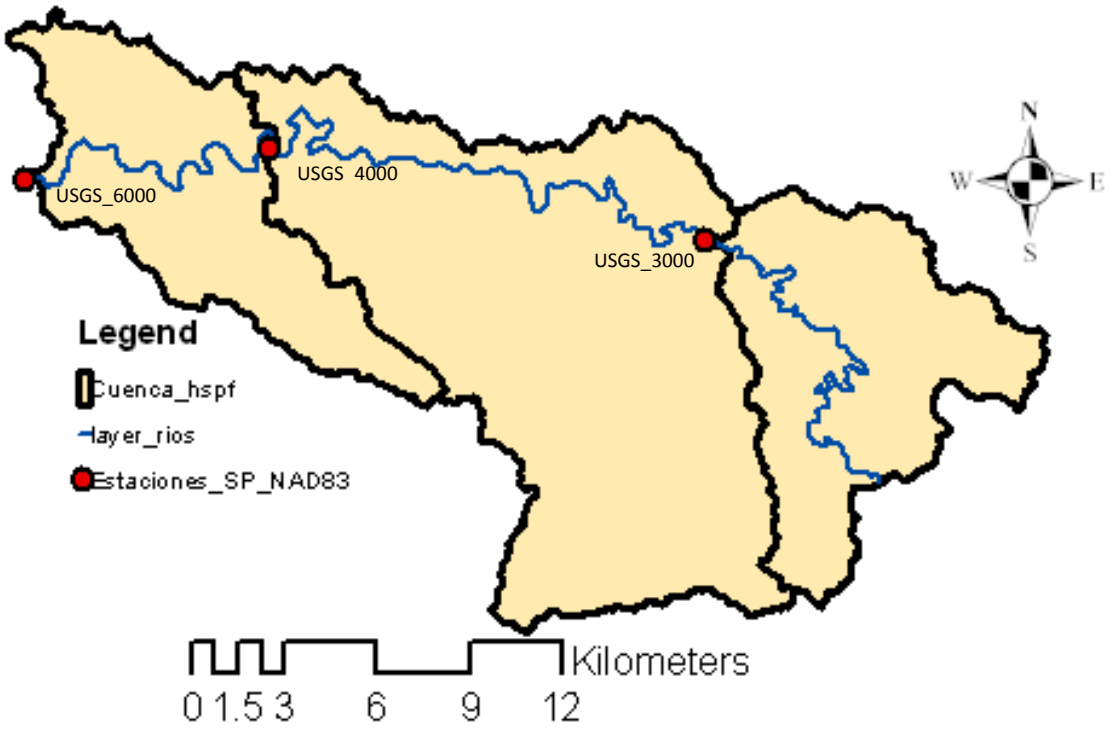


Figura 4.10 Cuenca delineada para el modelo en HSPF.

Los usos del suelo fueron reclasificados en **BASINS**, de acuerdo a los requerimientos de **HSPF**. Se encontró un total de seis usos de terreno en la cuenca: Urbano, agrícola, arbustos, Bosques, Agua y suelo descubierto. En la Tabla 4.7 se enseñan los usos del suelo y su distribución porcentual en la cuenca. Estos corresponden al área de la cuenca del Río Grande de Añasco simulada en **HSPF**.

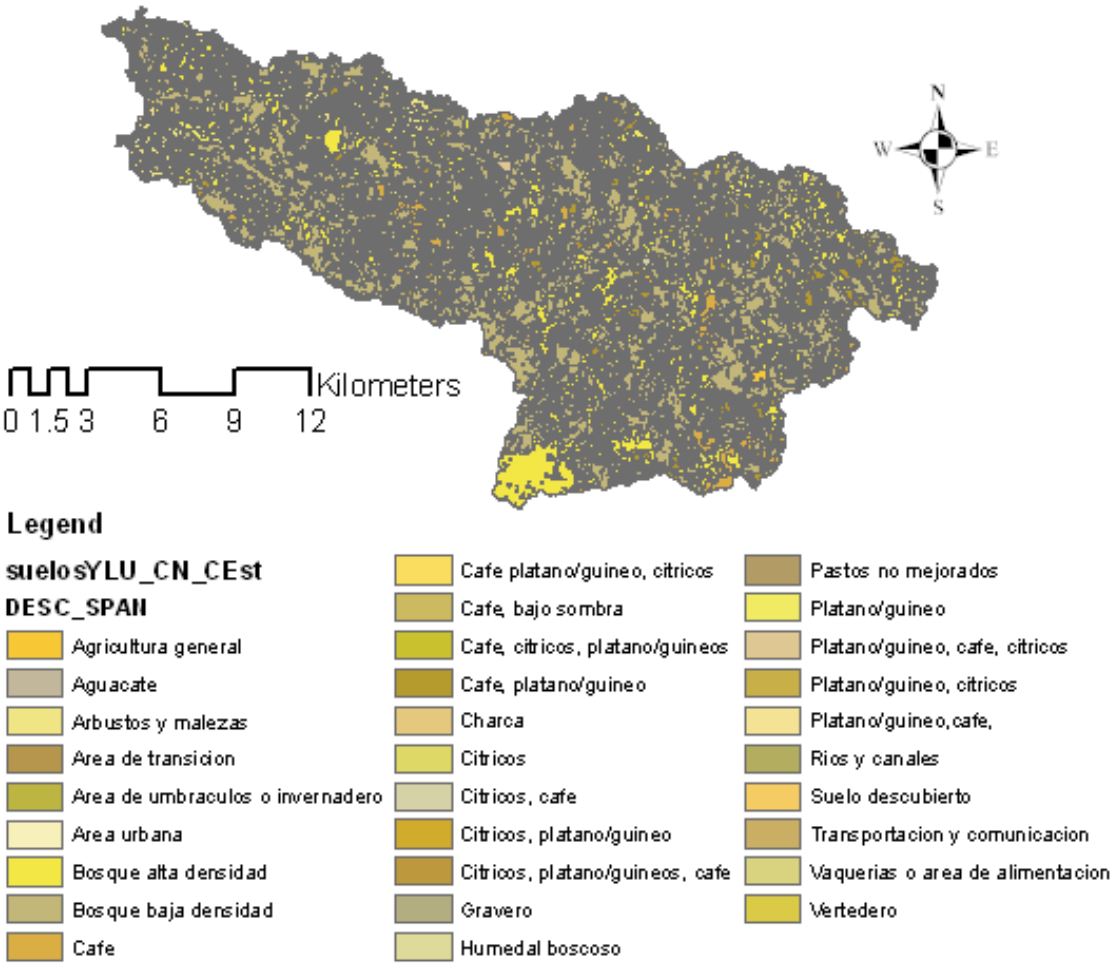


Figura 4.11 Usos del suelo para la cuenca en estudio. (PRWRERI, 2007).

Tabla 4.7 Clasificación de suelos en BASINS-HSPFpara la Cuenca del Río Grande de Añasco.

Código uso del terreno	Nombre	Porcentaje (%)
1	Urbano	4.93
2	Agrícola	10.59
3	Arbustos	13.11
4	Bosques	70.01
5	Agua	1
7	Terreno descubierto	0.36

4.2.1.3 Suelos en el área de estudio para HSPF

La información de suelos para el área de estudio se obtuvo de la base de datos del Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (NRCS, por sus siglas en inglés), la cual está disponible en su página web. La página web del NRCS cuenta con dos sitios para descargar los datos. Uno es STASGO, el cual provee información más general, y el otro es SSURGO, que cuenta con información más detallada y para áreas más pequeñas. En este estudio se utilizó el provisto por SSURGO, para el área oeste de Puerto Rico En la Figura 4.12, se muestra la clasificación de suelos definida para el modelo en **HSPF** para la cuenca del Río Grande de Añasco.

4.2.1.4 Datos meteorológicos e hidrológicos

HSPF requiere dos archivos con las series de tiempo para el proceso de simulación y calibración. Para el proceso de simulación necesita datos meteorológicos, que varían de acuerdo al componente que se quiera simular. Para la simulación de flujo y coliformes fecales, **HSPF** requiere datos horarios de precipitación. Los datos de precipitación se obtuvieron del Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC, por sus siglas en inglés) para los años 1996 y 1997. El NCDC cuenta con tres estaciones dentro del área de estudio. A cada subcuenca se le asignó una de estas estaciones de acuerdo al área de

influencia, es decir, a la distribución espacial de la lluvia. Las estaciones empeladas fueron: Adjuntas, Maricao 2 SSW y San Sebastián 2 WNW.

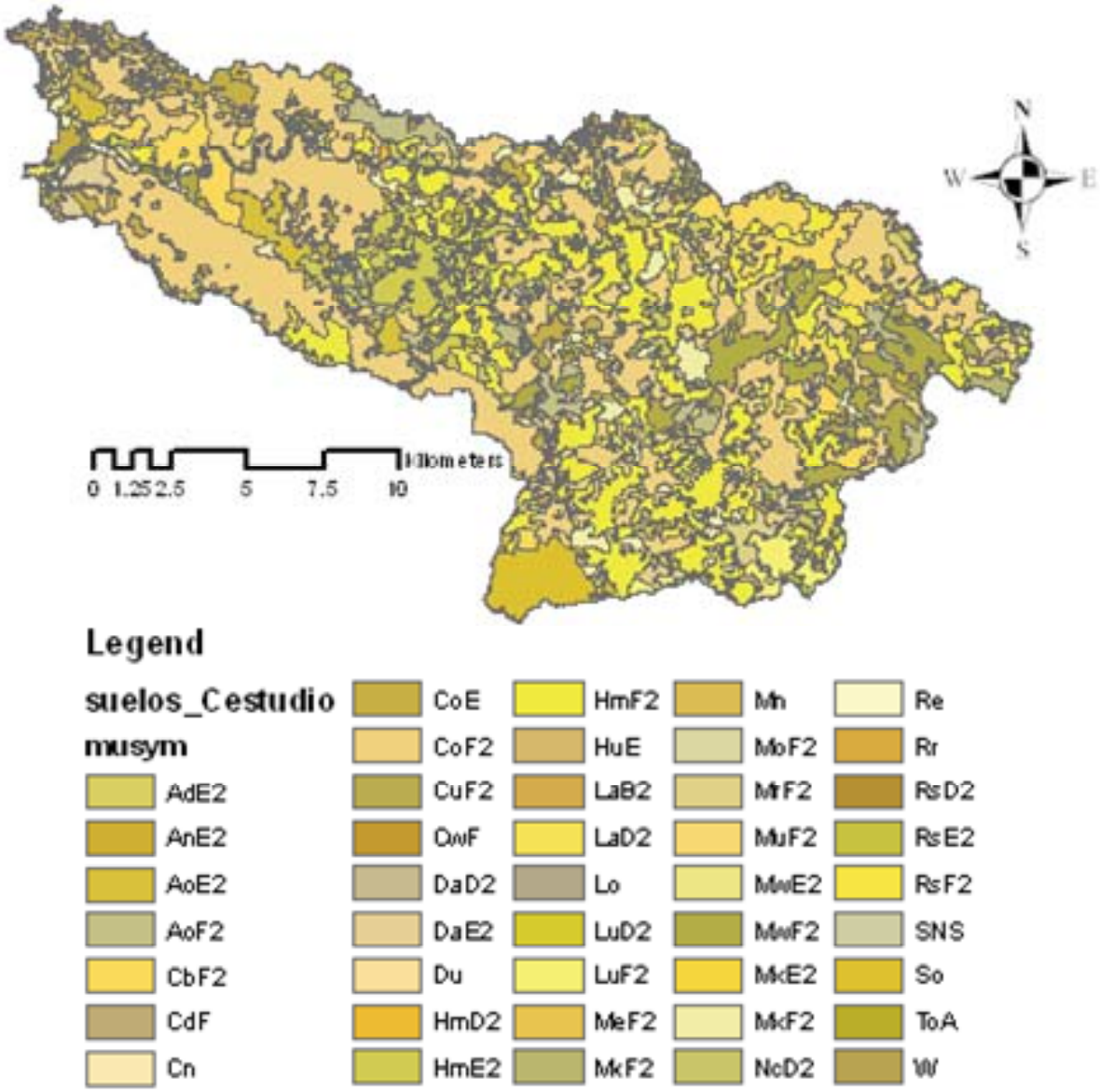


Figura 4.12 Clasificación de suelos para el área de estudio. (Adaptado de USDA, 1975)

Para el proceso de calibración hidrológica, se emplearon los datos de flujo para el año 1996 provistos por el USGS y para la validación datos del año 1997 (USGS, 2004). Para la cuenca en estudio, se empleó la estación USGS

50144000 Río Grande de Añasco cerca a San Sebastián, ya que cuenta con datos de flujo diario. La calibración de coliformes fecales se realizó con unas series de tiempo mensuales suministradas por PRWRERI, las cuales tienen como base los datos observados por el USGS (Tabla 4.6) (PRWRERI, 2007).

4.2.1.5 Desarrollo del modelo en HSPF

Una vez establecidas las coberturas de subcuencas, ríos, usos del suelo y puntos de salida, se procedió a editar las tablas de atributos de cada una, de acuerdo a los requerimientos de **HSPF**. Luego estas coberturas fueron lanzadas desde la interfase **BASINS**, hacia **WinHSPF** (Aqua Terra Consultants, 2004b) y, en conjunto con las series de tiempo hidrometereológicas previamente creadas en **WDM**, se estableció el modelo de la cuenca en **HSPF**. En la Figura 4.13 se muestra el diagrama esquemático de la cuenca creado a partir del archivo de control del usuario por **WinHSPF** (Bicknell, 1996).

HSPF permite segmentar el modelo establecido de dos maneras: agrupado o individual. De manera agrupada crea un sólo segmento ya sea permeable o impermeable en cada uso del suelo para todas las subcuencas en estudio.

Por el contrario la opción individual, permite crear un segmento para cada subcuenca. Para este proyecto se selecciono la opción individual, con el fin de asignar características particulares a cada subcuenca, como por ejemplo la distribución de los datos de precipitación, y así obtener mejores resultados en la

simulación. A la subcuenca USGS_3000 se le asignó la precipitación de la estación Maricao 2 SSW, a la USGS_4000 la Subestación Adjuntas y a la subcuenca USGS_6000 la estación San Sebastián 2 WNW.

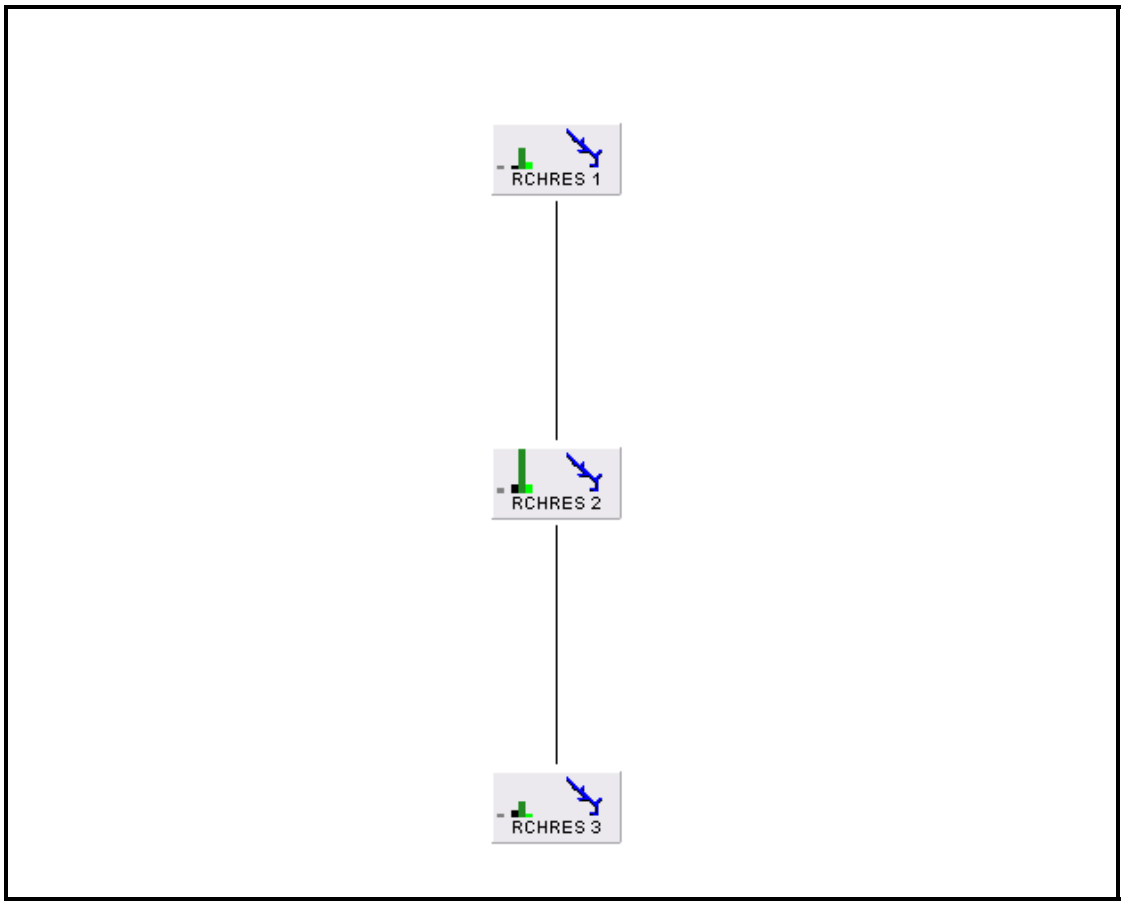


Figura 4.13 Modelo generado por BASINS-HSPF para el área de estudio.

Luego de establecer la segmentación del modelo, se procedió a crear las FTABLES en **WinHSPF**. **HSPF** describe la descarga del río a base de estas. Las FTABLES se emplean para especificar la relación del volumen y la profundidad con la descarga para las operaciones realizadas por **HSPF** en los segmentos del río (Bicknell, 1996). Para obtener los parámetros requeridos por HSPF para

crear las FTABLES se emplearon perfiles de las secciones transversales del Río Grande de Añasco medidos en campo y documentadas por Villalta (2004).

4.2.2 Análisis de sensibilidad para HSPF

Los procesos de simulación resultan complejos, ya que hay un gran número de parámetros involucrados, los cuales contribuyen a la descripción del comportamiento hidrológico de la cuenca. Por tal razón, es recomendable elaborar un análisis de sensibilidad, para determinar cuáles son los parámetros que más influyen en el comportamiento hidrológico del sistema. Así se puede dirigir el trabajo hacia la calibración de estos parámetros, lo que se traduce en optimización del tiempo de calibración. Por esta razón, en este proyecto se realizó un análisis de sensibilidad, que a grandes rasgos consistió en variar los parámetros involucrados en la calibración hidrológica y de coliformes fecales.

La elección de los parámetros seleccionados para el análisis de sensibilidad consintió en una revisión de trabajos previos, como también de valores recomendados en las notas técnicas de **BASINS** (U.S. EPA, 2000) los cuales han resultado ser consistentes unos con otros.

La metodología empleada para este análisis de sensibilidad fue utilizada previamente por Suárez-Narváez (2005). Este consistió en aplicar una variación porcentual a cada parámetro individualmente, y luego observar en el caso de la calibración hidrológica el flujo simulado, y en el caso de coliformes fecales, consistió en observar la concentración resultante. Cada parámetro fue variado

en un 10%, y luego corrido en **HSPF** para observar el comportamiento del modelo. El modelo fue corrido un total de 48 veces para analizar 24 parámetros.

Con los flujos y concentraciones de coliformes fecales resultantes de la simulación se construyó una matriz de sensibilidad relativa [A], la cual tiene un tamaño de *n* x *m*, donde *n* es el número de resultados del modelo (uno por día), que para este caso es 366, que corresponde al periodo simulado, y *m* es el número de los parámetros seleccionados para este análisis, lo que corresponde a 24 parámetros. Los elementos para esta matriz fueron calculados con la siguiente ecuación:

Flujo:

$$a_{ij} = \frac{\partial q_{ij}\theta}{\partial \theta_j q}$$, donde *i* varía de 1 a *n*, y *j* de 1 *a m*, (4.4)

a_{ij} representa la sensibilidad relativa de los flujos o de las concentraciones de coliformes fecales para el día *i* y el parámetro *j.* $\partial\theta_j$ es la variación del parámetro *j* analizado, que es el cambio del resultado del modelo como respuesta a la variación de parámetro *j* . θ es el valor inicial del parámetro *j,* que es el valor inicial de flujo o de concentración de coliformes fecales.

Con el fin de estimar la propagación de errores (γ^2) se construyó la matriz de información [Z*]* de tamaño *m* x m, la cual se calcula al multiplicar la

matriz de sensibilidad [*A*] por su traspuesta. El error se calculó con la matriz [Z] y la siguiente expresión:

$$\gamma^2 = \frac{1}{n}\left[\sum z_{ii}\right]\left[\Delta\theta\right]^2, \tag{4.5}$$

donde z_{ii} es el valor de la diagonal de [*Z*] y $\Delta\theta$ es la variación en el parámetro evaluado (Tabla 4.8).

Tabla 4.8 Parámetros seleccionados para análisis de sensibilidad de flujo.

Parámetro	Descripción
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo
INFILT (pulg/hr)	Parámetro de infiltración
KVARY (l/pulg))	Recesión de agua subterránea
AGWRC	Base de recesión de agua subterránea
INFEXP	Exponente de la ecuación para calcular la infiltración
INFILD	Relación entre la capacidad máxima y promedio de infiltración
DEEPFR	Fracción de agua subterránea que va al acuífero
BASETP	Fracción de ET del flujo base
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento en la intercepción
UZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona superior del suelo
INTFW	Entrada del interflujo
IRC	Recesión del interflujo
LZETP	ET para la zona baja
RETSC (pulg)	Capacidad de retención de la superficie impermeable

Tabla 4.9 Parámetros seleccionados para análisis de sensibilidad de coliformes fecales

Parámetro	Descripción
SQOLIM-P (ufc acre^{-1})	Almacenamiento máximo de bacterias en la superficie permeable
SQOS-P (ufc acre^{-1})	Almacenamiento inicial de CF en la superficie permeable
WSQOP-P (pulg .hr^{-1})	Razón de escorrentía capas de remover el 90% de las bacterias almacenadas en la superficie permeable
SQO-I(ufc acre^{-1})	Almacenamiento inicial de CF en la superficie impermeable
SQOLIM-I (ufc acre^{-1})	Almacenamiento máximo de bacterias en la superficie impermeable
WSQOP-I (pulg .hr^{-1})	Razón de escorrentía capaz de remover el 90% de las bacterias almacenadas en la superficie impermeable
THFST(1/día)	Coeficiente de corrección de temperatura para la razón de degradación de primer orden de bacterias
FSTDEC (1/día)	Razón de degradación de primer orden de bacterias

4.2.3 Calibración y Validación del modelo en HSPF

Una vez establecidos los parámetros a calibrar determinados con el análisis de sensibilidad de flujo y coliformes fecales, se procedió a ajustar cada uno ellos de tal manera que los valores simulados se ajustaran a los observados. El método de calibración utilizado es el recomendado por Donigian (2002), el cual consiste en un proceso interactivo, en el que se evalúan y refinan los parámetros dentro de los rangos posibles para cada parámetro (Ver Apéndice A), luego de ser comparados los valores observados con los simulados.

Los parámetros seleccionados se agruparon para el proceso de calibración (Suárez-Narváez, 2005). La calibración se inició con los parámetros relacionados a la escorrentía directa: *LZSN* y *UZSN*, los cuales representan el almacenamiento en la zona inferior y superior del suelo respectivamente. El siguiente grupo está representado por *INFILT* y *LZETP*. *INFILT* es un índice que representa la razón de infiltración del suelo, y *LZETP* es un coeficiente que define la oportunidad de evapotranspiración. El tercer grupo de parámetros ajustados está relacionado con la interacción del agua subterránea con el cuerpo de agua. Estos parámetros son *DEEPFR* y *BASETP*, los cuales controlan la interacción del agua subterránea con la evapotranspiración en flujos bajos. *DEEPR* es el parámetro que permite al usuario determinar la fracción de agua que va hacia la parte inactiva del agua subterránea y *BASETP* permite indicar cuál es la fracción del flujo base que queda disponible para la evapotranspiración producida por la vegetación riparia del río.

Por último se ajusto el parámetro *INTFW*. Este coeficiente determina la cantidad de agua que entra de la superficie hacia el terreno produciendo interflujo; este parámetro influencia los flujos picos en el hidrograma.

Una vez calibrados los componentes hidrológicos del modelo de la cuenca, se procedió a ajustar los parámetros relacionados con la concentración de coliformes fecales. El primer grupo de parámetros calibrados fue el módulo permeable al cual pertenecen *SQOLIM*, que representa el almacenamiento máximo de bacterias sobre la superficie permeable del terreno, *ACQOP* que

calcula la razón de acumulación de bacterias la superficie del terreno, *WSQOP* es la razón de escorrentía superficial que remueve el 90 % de las bacterias almacenadas en la superficie permeable del terreno. El siguiente módulo ajustado fue impermeable, con el parámetro *ACQOP-I*, que representa la razón de acumulación de bacterias en la superficie impermeable del terreno. Por último, se calibró el parámetro relacionado con coliformes fecales en el cuerpo de agua, *FSTDEC,* que es la razón de degradación de primer orden para bacterias. Los parámetros SQOLIM y ACQOP fueron calculados con ayuda del "Bacterial Indicator Tool" para cada uso del terreno. Este programa es desarrollado en Excel por la U.S. EPA (U.S. EPA, 2000a), el cual estima las cargas de coliformes fecales presentes en la cuenca, de acuerdo a valores reportados en la literatura, respecto a la cantidad de coliformes fecales que se producen en las diferentes fuentes, las cuales son: industria avícola, vaquerías, industria porcina, y pozos sépticos. Debido a que este estudio está encaminado a analizar fuentes dispersas y no puntuales, los permisos de las descargas de contaminantes no se tomaron en cuenta. Los permisos del Sistema Nacional Federal de Eliminación de Descarga de Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés), son descargas reguladas y deben cumplir con los estándares de calidad, por lo que se presume que las concentraciones que están violando la norma en la cuenca se deben a otro tipo de fuentes.

Los periodos de calibración seleccionados se hicieron de acuerdo a la disponibilidad de datos en la cuenca. En el caso de la simulación hidrológica, la estación USGS 501440000 reporta valores de flujo diario. Para el caso de

coliformes fecales las estaciones USGS 50143000, USGS 5014400 y USGS 50146000 reportan concentraciones de coliformes fecales cada tres o cuatro meses, sin embargo existen muchos datos ausentes, por lo que se empleó el análisis estadístico realizado por PRWRERI para recuperar valores ausentes en estas series de tiempo. La simulación hidrológica y de coliformes fecales se realizó para el periodo de un año, entre Enero 1 a Diciembre 31 del año 1996, y el proceso de validación correspondió a un periodo de un año, entre enero 1 a Diciembre 31 de 1997. El año de calibración fue seleccionado de a cuerdo a un análisis de eventos de coliformes fecales y las series de tiempo de flujo, donde se buscaba el año donde la concentración de coliformes fecales se viera mejor representada por el comportamiento del flujo, es decir, la existencia de flujos pico cuando se presentaban concentraciones pico de coliformes.

Con el fin de verificar la calidad de las simulaciones, se utilizaron diferentes indicadores estadísticos. Tanto los indicadores estadísticos, como las series de tiempo, son parte de las funciones del programa **GenScn**, en el cual se generan y analizan las simulaciones.

Para la calibración hidrológica se empleó el coeficiente de correlación (R), el coeficiente de determinación (R^2), el error relativo (E) y RMSE (por sus siglas en inglés Root Mean Square Error). Donigian (2002), considera que una calibración hidrológica es aceptable para simulación de flujo diario, si el R^2 es igual o mayor a 0.7 y si el error relativo es menor al 15 %.

5 Resultados y Discusión

5.1 Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal

El índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal (IAPSCF) fue creado luego de aplicar la Ecuación 4.1. ($\mathrm{IAPSCF} = MT + RP - TEMP$), la cual integra los mecanismos de transporte (*MT*), la razón de producción de coliformes fecales (*RP*) y el efecto de la temperatura (*TEMP*). Cada parámetro fue normalizado a una escala común de 1 a 10. En la Figura 5.1 se observa el resultado de esta ecuación.

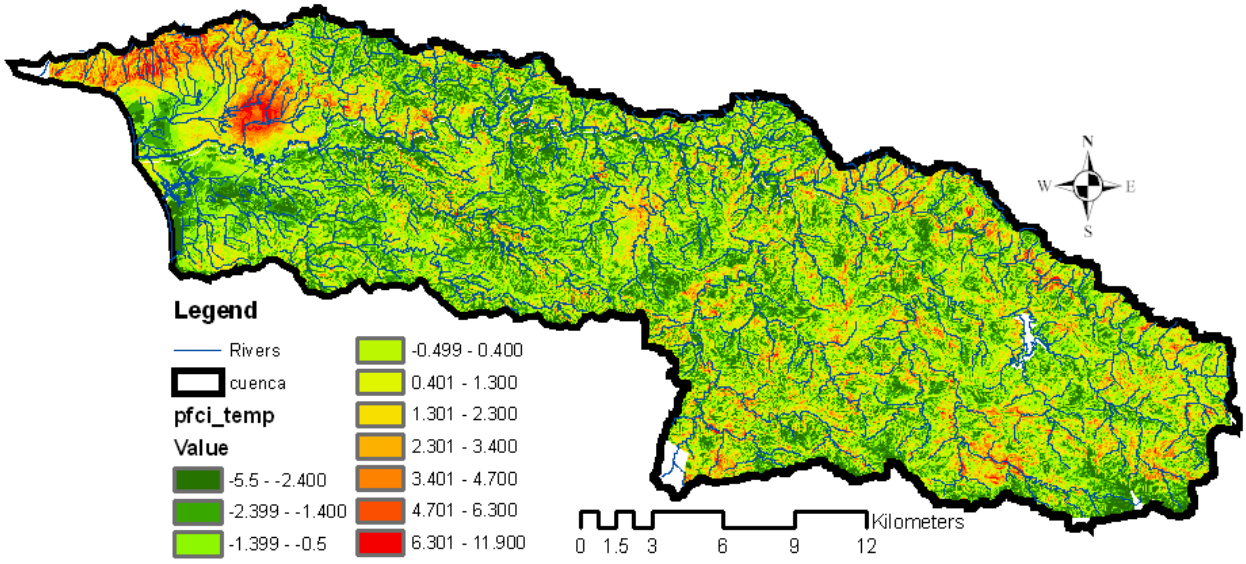


Figura 5.1 Resultado del IAPSCF

El rango de valores resultante del IAPSCF se encuentra dentro de una escala de -5.5 a 11.9, que resultan de la operación matemática dada por la Ecuación 4.1 en cada una de las celdas de las capas temáticas empleadas. El valor -5.5 representa las áreas con menor probabilidad de ser contaminadas por coliformes fecales y 11.99 las que tienen mayor probabilidad. En Figura 5.2 se observa el índice con una escala que va desde alto a baja probabilidad de contaminación fecal. La cual se obtuvo dividiendo en rangos iguales, la escala presentada en la Figura 5.1.

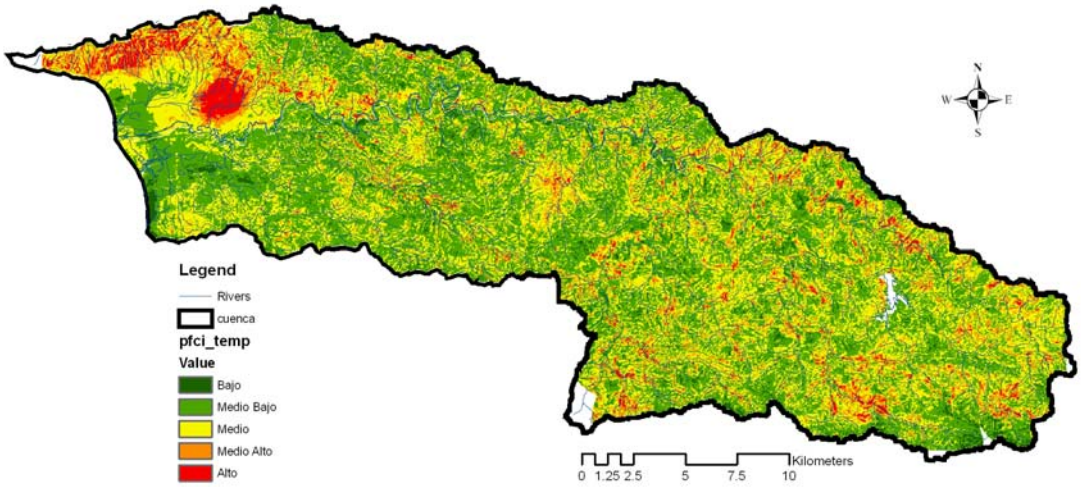


Figura 5.2 IAPSCF en una escala cualitativa

Los resultados IAPSCF fueron comparados con las fuentes de coliformes fecales identificadas previamente en la cuenca, con el fin de verificar si dichas fuentes están localizadas en las áreas susceptibles a contaminación fecal. A continuación se enseñan las figuras que comparan el índice frente a la información de fuentes disponible en la cuenca. Los datos disponibles son:

vaquerías, porquerizas, industria avícola, estimado de pozos sépticos, y áreas con servicio sanitario.

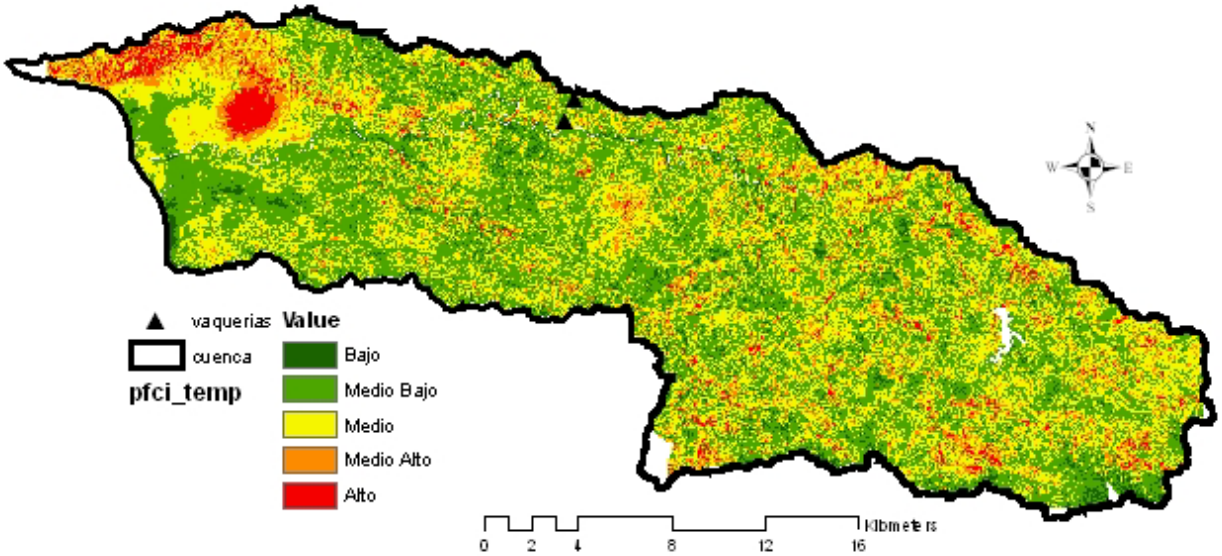


Figura 5.3 IAPSCF y Vaquerias

Haciendo una aproximación en el área donde están localizadas las vaquerías (

Figura 5.3), se observa que el índice va de medio a medio bajo en la escala ya que el efecto de los mecanismos de transporte y la temperatura en esta zona dificulta el viaje de las bacterias a los cuerpos de agua y por lo tanto es un lugar propicio para el desarrollo de esta actividad.

El resultado del índice frente a la presencia de fincas de cerdos (Figura 5.4) muestra que algunas de estas fincas se encuentran en áreas susceptibles a contaminación fecal. La densidad poblacional de estos es muy alta, y adicionalmente algunas de estas fincas se encuentran cerca a los cuerpos de agua, lo cual hace a esta fuente un foco potencial de contaminación fecal.

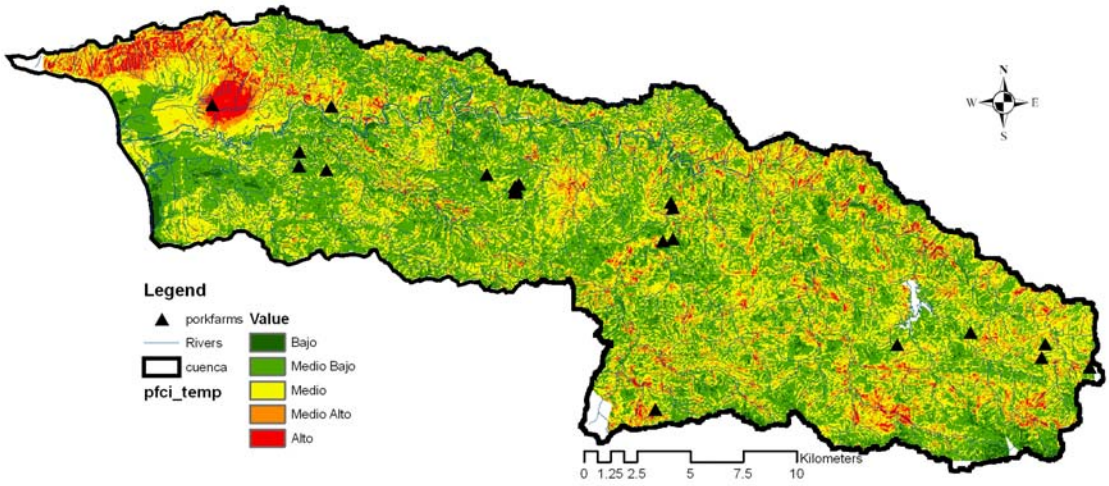


Figura 5.4 IAPSCF y fincas porcinas

La industria avícola se encuentra dentro del índice en la escala de medio (Figura 5.5Figura 5.4). Por tal razón se debe controlar esta actividad puesto que la producción de heces por individuo es pequeña, pero la población muy alta, así como la densidad, ya que estos animales se encuentran confinados en pequeñas áreas y pueden aumentar el riesgo de contaminación fecal.

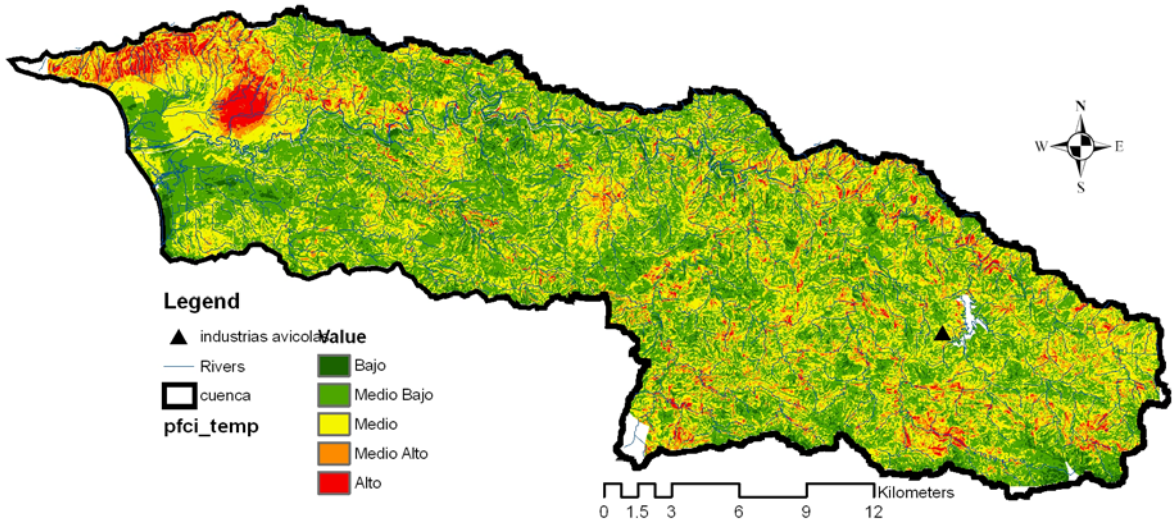


Figura 5.5 IAPSCF e industria avícola

Para el análisis de IAPSCF respecto a los sistemas sanitarios, se hizo la presunción que estos sistemas fallan en un 15 % debido a tuberías rotas, infiltración en las uniones, y fallas en las estaciones de bombeo. Estos sistemas se encuentran en el área urbana, la cual tiene superficies pavimentadas que propician el efecto de escorrentía. Se asumió que el 90% de las bacterias son removidas por la escorrentía en eventos de lluvia. La Figura 5.6 muestra que existen varios puntos del índice con alto riesgo, relacionados a los sistemas sanitarios. Estas áreas deben ser inspeccionadas en detalle en el campo, para identificar los lugares con mayor riesgo, que pudieran estar incumpliendo, para así atenderlas con la urgencia que corresponda.

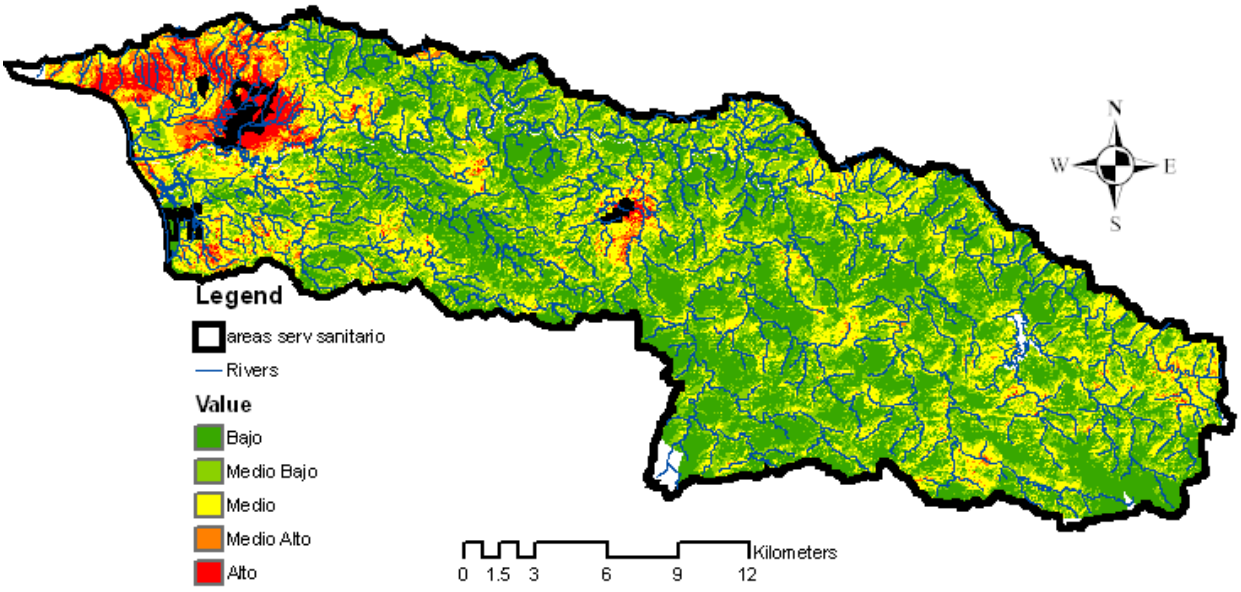


Figura 5.6 IAPSCF y servicio sanitario

La cuenca cuenta con un gran número de pozos sépticos, en los que se observó durante visitas de campo, que presentan fallas debido a factores que están desde la construcción hasta el mantenimiento de los mismos. Adicionalmente las heces humanas tienen la concentración más alta de coliformes fecales, entre las fuentes estudiadas en este proyecto. De acuerdo a la Figura 5.7 los pozos sépticos son la fuente con más alto potencial de contaminación fecal. Para este análisis se asumió que la razón de falla de los pozos es de un 70% de acuerdo a la US EPA (2004).

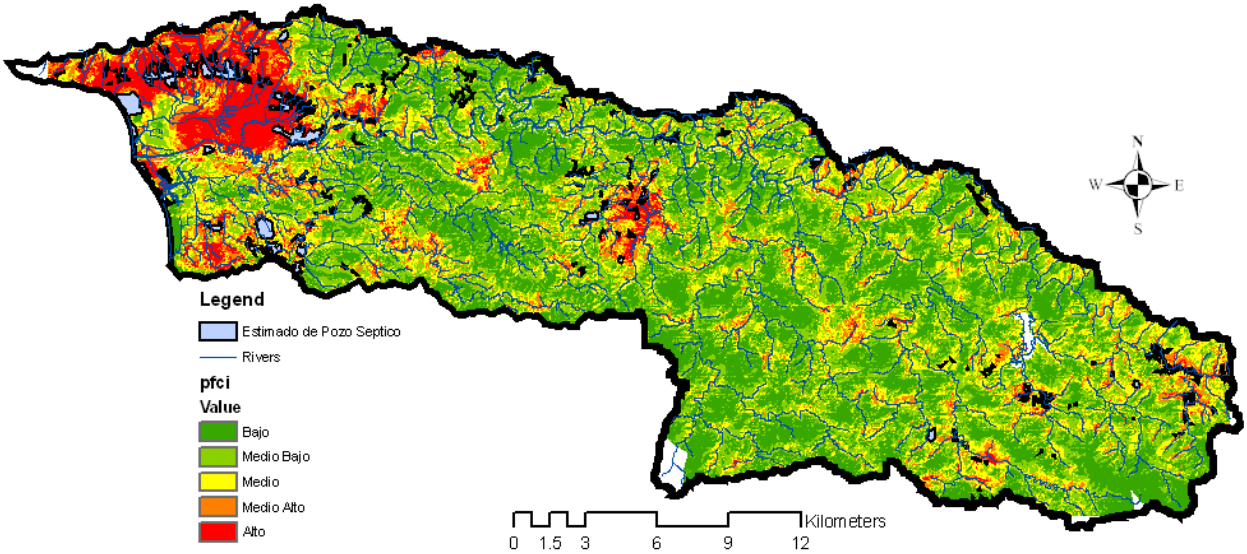


Figura 5.7 IAPSCF y pozos sépticos

La Figura 5.8 muestra la relación del índice con los pozos sépticos y el sistema sanitario. Estos coinciden con zonas con alta probabilidad de contaminación fecal, donde las más predomínate es en el área urbana del municipio de Añasco.

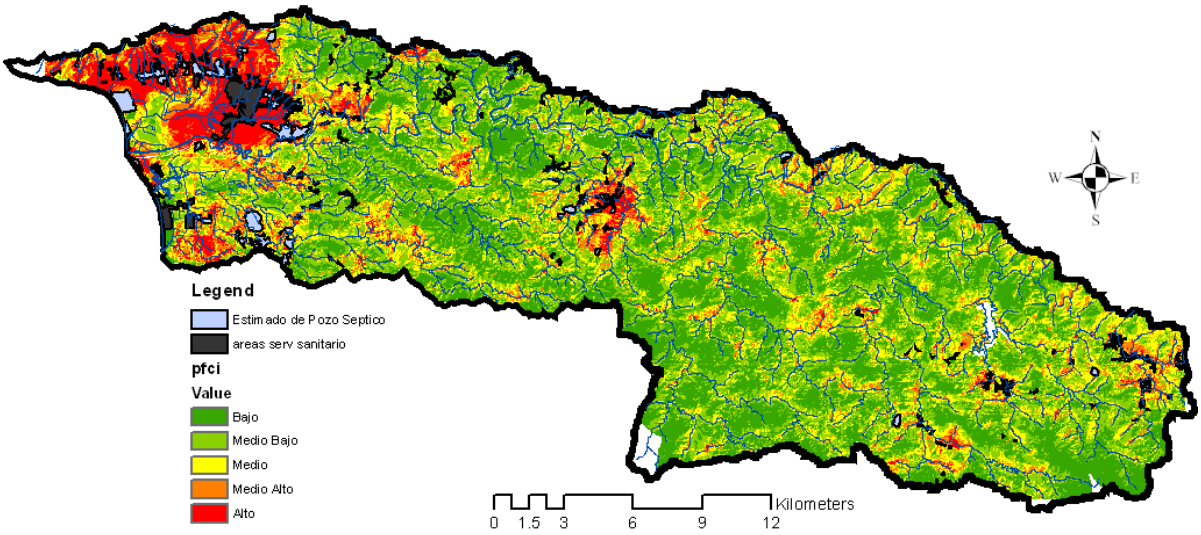


Figura 5.8 IAPSCF con pozo séptico y sistema sanitario

En la Figura 5.9 se observa la integración de las fuentes de coliformes fecales. Donde se puede considerar más críticos, aquellos lugares donde se encuentra más de una fuente, como es el caso del perímetro urbano del Municipio de Añasco, donde se integran los pozos sépticos, el sistema sanitario y una finca de cerdos. El índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal (IAPSCF), refleja que los pozos sépticos y las fincas de cerdos pueden ser los mayores aportadores a la contaminación fecal del Río Grande de Añasco.

5.2 Análisis de sensibilidad para el modelo de coliformes fecales

El análisis de sensibilidad se realizó para el año 1996 para el punto de salida de la subcuenca USGS_4000, ubicado en la estación USGS 50144000.

Se emplearon 24 parámetros en este análisis, los cuales han sido reportados en la literatura como parámetros sensibles para la calibración hidrológica y de coliformes fecales. El análisis de sensibilidad se realizó con el método descrito en la metodología, en el cual los parámetros se varían individualmente en un 10%, y se compara la serie de tiempo calculada por el modelo frente a la de valores observados, con el fin de determinar el porcentaje de variación que produce dicho parámetro y por ende la sensibilidad del modelo frente a ese parámetro. En la Tabla 5.1 y en la Tabla 5.2 se presentan los parámetros empleados en el análisis de sensibilidad y la respuesta obtenida de la matriz de información para flujo y coliformes fecales, respectivamente.

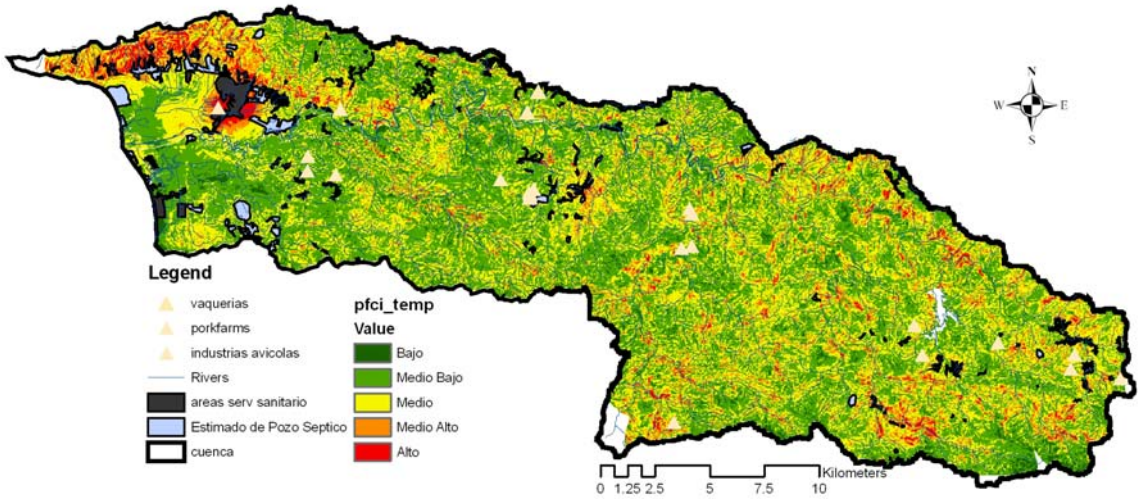


Figura 5.9 IAPSCF y Fuentes combinadas

Según los resultados de la Tabla 5.1, los parámetros *INFILT* y *AGWRC* obtuvieron los valores más altos de γ^2 por ser los más sensibles para el área de estudio. *INFILT* representa la razón de infiltración del suelo y está estrechamente relacionado con *AGWRC,* lo cual indica que los procesos

hidrológicos en la cuenca dependen en gran medida de la cantidad de agua que queda disponible para escorrentía. A*GWRC* representa la recesión diaria del flujo de agua subterránea. Este parámetro influye notoriamente en el flujo base del río, ya que de este depende el parámetro del flujo de salida del agua subterránea. Los parámetros restantes que presentaron mayor sensibilidad son: *LZSN, UZSN, INFEXP, INTFW, IRC*, los cuales están relacionados con los procesos de infiltración, percolación e interflujo y tienen una alta influencia en los flujos pico y el flujo base del río.

Tabla 5.1 Resultado del analisis de sensibilidad para flujo.

Parámetro	$\Delta\theta^2$	γ^2
LZSN	0.36	17.59
INFILT	2.56E-04	31.3509
KVARY	1.00E-06	4.3763
AGWRC	0.0096	45.4441
INFEXP	0.04	13.1703
INFILD	0.04	3.2557
DEEPFR	0.0001	0.0079
BASETP	4.00E-06	0.0024
AGWETP	0.000001	0.0796
CEPSC	0.0001	0.2839
UZSN	0.013	4.7824
INTFW	0.005625	14.6575
IRC	0.0025	7.7395
LZETP	0.0001	0.8284
RETSC	0.0001	1.0238

Suárez-Narváez (2005) reportó como parámetros sensibles para calibración de flujo en **HSPF** a: *INFILT, AGWRC, IRC, KVARY, LZSN, UZSN y RETSC*, para la cuenca del Río Grande de Arecibo en Puerto Rico. En un análisis de sensibilidad para calibrar flujo, llevado a cabo por Alarcon V. et al

(2006), en la cuenca del río Jourdan en el golfo de Mississippi, se encontraron como parámetros sensibles a *LZSN, INTW, INFILT, y UZSN*.

En la Tabla 5.2 se presentan los resultados para el análisis de sensibilidad de coliformes fecales para el Río Grande de Añasco. Los parámetros que resultaron más sensibles para el área de estudio son: *SQO-P, WSQOP-P, SQOLIM-P, SQOLIM-I y WSQOP-I*.

ACQOP no se tomo en cuenta para el análisis de sensibilidad, ya que los valores para este parámetro tienen que ser provistos al modelo independientemente de su sensibilidad, debido a que representa la carga de coliformes fecales provenientes de las diferentes fuentes en el área de estudio.

Tabla 5.2 Resultado del analisis de sensibilidad para coliformes fecales.

Parámetro	$\Delta\theta^2$	γ^2
SQOLIM-P	7.72641E+23	1.60E+06
THFST	0.012544	3.55E-03
WSQOP-P	0.026896	5.02E+10
FSTDEC	0.0016	4.38E-04
SQO-P	7.72641E+23	7.13E+10
SQOS-I	4.2436E+12	0
SQOLIM-I	4.2436E+12	1.90E+06
WSQOP-I	0.026896	2.04E-06

El *WSQOP-P* presentó una gran sensibilidad en el modelo, ya que representa la razón de escorrentía necesaria para remover el 90 % de bacterias, es decir, de este parámetro depende la cantidad de coliformes fecales que van a ser arrastrados desde el terreno hacia el cuerpo de agua. Al calibrar *SQOLIM-P* no se pueden hacer grandes variaciones al parámetro *SQOLIM-I*, ya que el

programa produce un error y se interrumpe la corrida. Las variaciones que el programa admitía sin producir error, no produjeron variaciones en la calibración, por esta razón en este análisis *SQOLIM-I* no se tomó en cuenta.

Paul, et al. (2004) calibraron un modelo de coliformes fecales para Río Salado en Texas y encontraron como parámetros sensibles a *SQOLIM-P*, *WSQOP-P* y *FSTDEC*. Im et al, (2004), reportaron como parámetros sensibles para una cuenca localizada en el estado de Virginia a *WSQOP-P*, *SQOLIM-P*, *IOQC* y *FSTDEC*. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este análisis confirman las tendencias observadas en la literatura.

5.3 Calibración y validación hidrológica

Las condiciones hidrológicas de la cuenca tienen una estrecha relación con un gran número de constituyentes de calidad de agua, entre los cuales están los coliformes fecales (Im et al, 2004). Por esta razón, se buscó un buen ajuste en la calibración hidrológica. Para realizar la calibración hidrológica se ajustaron 18 parámetros involucrados con el proceso de lluvia-escorrentía de acuerdo a los valores recomendados (U.S. EPA, 2000).

En primera instancia, se establecieron los parámetros *LSUR* y *SLSUR*, que representan la longitud del flujo en la superficie, y la pendiente del flujo en la superficie, respectivamente. Estos parámetros se calcularon en **ArcMap 9.1**, con la herramienta **ArcHydro**. Por tal razón estos parámetros no estuvieron

sujetos a calibración. El valor establecido para *LSUR* fue 45.72 metros para las tres subcuencas, y *SLSUR* obtuvo un valor que vario de 0.23 a 0.29 metro/metro, obteniendo un valor más bajo en la cuenca USGS_6000 y el más alto en la cuenca USGS_3000.

El proceso de calibración para los parámetros restantes consistió en variar los parámetros de acuerdo a los rangos establecidos por los creadores del modelo (Aqua Terra Consultants, 2004c), hasta lograr un buen ajuste entre el flujo observado y el simulado. El primer grupo de parámetros calibrados, fueron los relacionados con el volumen total de escorrentía: *LZSN* y *UZSN*. Valores grandes de *LZSN* reducen las razones de flujo, puesto que aumenta la cantidad de agua almacenada en la zona baja del suelo y aumenta la oportunidad de evapotranspiración, y viceversa. Valores altos de *UZSN*, incrementan la cantidad de agua retenida en la zona alta del suelo, y esta queda disponible para evapotranspiración, disminuyendo la escorrentía superficial. Los valores de *LZSN* variaron entre 0.305 y 0.356 metros y los de *UZSN* oscilaron entre 0.0203 y 0.028 metros. Valores altos de estos parámetros fueron asignados a las zonas de bosque, cuyos suelos tienen mayor capacidad para retener agua.

El parámetro *INFILT* tuvo una gran influencia en la respuesta del modelo, ya que interviene en los flujos base del río y en la escorrentía directa. Los valores de *INFIL* variaron entre 0.00059 y 0.0076 metros/hora, que tienen un potencial de escorrentía de alto a moderado, y está relacionado con los grupos hidrológicos más representativos que se encuentran en la cuenca. Valores altos

de *INFILT* se encontraron en áreas forestales y o con cobertura vegetal y los valores bajos a zonas urbanizadas. El parámetro *INFEXP*, que es el exponente de la ecuación de infiltración, fue calibrado con un valor de 0.6 (adimensional) para la cuenca completa. Para la razón de la capacidad de infiltración máxima y promedio del suelo, *INFILD* (adimensional), se calibró el valor de 1 para toda la cuenca. En el Apéndice B se muestran los valores calibrados para cada uno de los parámetros hidrológicos.

El parámetro *LZETP* es adimensional y está relacionado con la evapotranspiración en la zona baja del suelo. Este coeficiente, que se usa para determinar la oportunidad de evaporación, no tuvo influencia en la respuesta del modelo, y el valor final calibrado fue de 1 para la totalidad de la cuenca. Los flujos base del modelo presentaron cambios con el parámetro *BASETP*, que está relacionado con la vegetación riparia del río la cual produce evapotranspiración directa. A este parámetro se le asignó un valor de 0.06 (adimensional).

Los parámetros *AGWRC* y *DEEPFR* están relacionados con el flujo y su interacción con el agua subterránea. *AGWRC* presentó una notoria influencia en el modelo. *AGWRC* es un parámetro adimensional que representa la recesión de agua subterránea, cuyo valor calibrado fue 0.985. El parámetro *DEEPFR* es la fracción de agua que se va hacia la parte profunda del acuífero y no contribuye al flujo base del río y fue calibrado a 0.13 (adimensional) para las tres subcuencas.

El último grupo de parámetros calibrados son los relacionados al interflujo: *INTFW* e *IRC* (adimensionales), representan la entrada y la recesión del interflujo, respectivamente. *INTFW* presentó un valor de 0.75, el cual es considerado como un valor bajo en la literatura para este parámetro. Esto se debe a que gran parte de la cuenca es montañosa, y esto produce rápidamente flujos pico en el río cuando hay eventos de lluvia y no da oportunidad de producir mucho interflujo. El parámetro *IRC* fue calibrado a 0.5 para la cuenca completa.

La calidad de la calibración se controló en primera instancia observando el balance de agua, representado por el volumen de escorrentía total simulado frente al observado para el año 1996. También se utilizaron indicadores estadísticos para asegurar la precisión de la calibración. Con los valores calibrados, el modelo presentó para el flujo promedio diario un coeficiente de correlación (R) del 91% y un coeficiente de determinación (R^2) del 83 %. Para flujos mensuales de 96% y 92%, respectivamente. Estas y otras estadísticas se muestran en la Tabla 5.3. La Figura 5.10 presenta la curva de duración, donde se observa una buena correlación entre los valores observados en la estación y los calibrados por el modelo y la Figura 5.11 se observa la calibración de flujo para el año 1996. La Figura 5.12 presenta el diagrama de esparcimiento donde se puede observar que los flujos más pequeños son simulados con menos error.

La validación del modelo para flujo de la cuenca se realizó para el año 1997 como se aprecia en la Figura 5.13. Se observa que el modelo desarrollado,

representa las condiciones existentes en la cuenca, para diferentes condiciones climáticas. La curva de duración (Figura 5.14) muestra medianas diferencias para flujos altos, y para flujos base una buena correlación entre el flujo observado y el simulado. El coeficiente de correlación (R) fue del 87 % para flujo diario y de 98 % parta flujo mensual y de acuerdo Donigian (2002) se consideran como valores aceptables cuando son mayores al 85%.

Tabla 5.3 Indicadores estadísticos para la calibración y verificación de flujo.

Indicadores estadísticos	Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación	Porcentaje de error promedio (%)	Error medio absoluto	Eficiencia (NS)	Error RMS Pies^3/s
Calibración diaria	0.91	0.84	10.67	162.65	0.63	431
Calibración mensual	0.96	0.92	14.34	66.42	0.68	128.7
Validación diaria	0.87	0.75	5.97	50.61	0.65	108.8
Validación mensual	0.98	0.97	5.73	18.69	0.94	25.9

Para la calibración hidrológica se empleó el coeficiente de correlación (R), el coeficiente de determinación (R^2), el porcentaje de error (E) y RMSE (por sus siglas en inglés Root Mean Square Error). Donigian (2002), considera que una calibración hidrológica es aceptable para simulación de flujo diario, si el R^2 es igual o mayor a 0.7 y si el porcentaje de error es menor al 15 %.

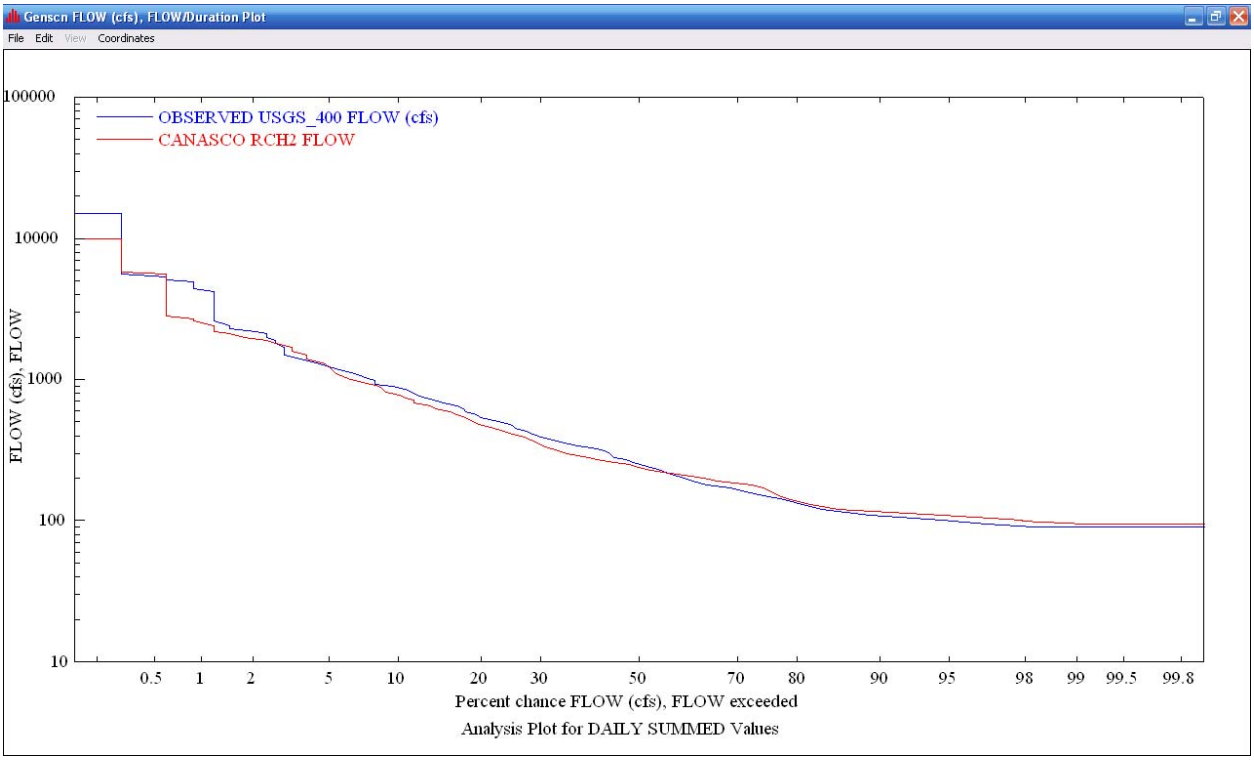


Figura 5.10 Curva de duración- frecuencia para la calibración hidrológica (año 1996).

5.1 Calibración y validación para coliformes fecales

La calibración para contaminantes asociados a la escorrentía, está enfocada en ajustar los parámetros relacionados a la acumulación diaria (libras/acre /día), limites de acumulación (libras/acre) y parámetros de lavado (pulgadas/hora) (Donigian, 2002).

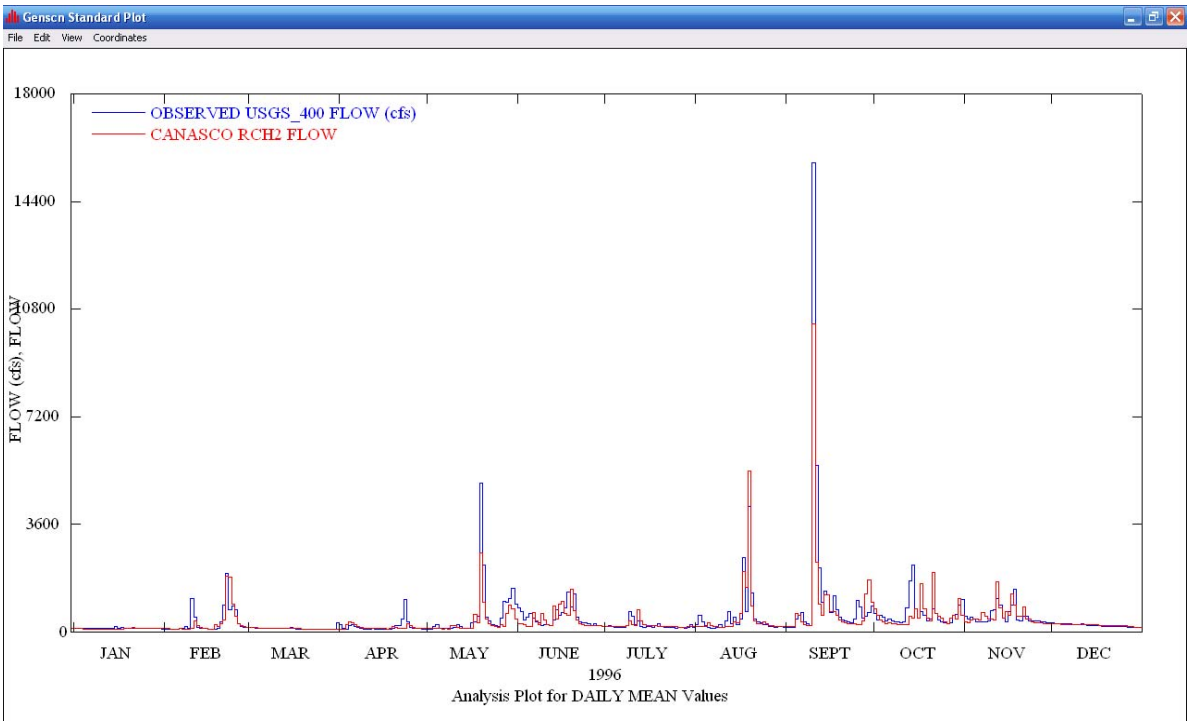


Figura 5.11 Calibración hidrológica para la estación USGS 50144000.

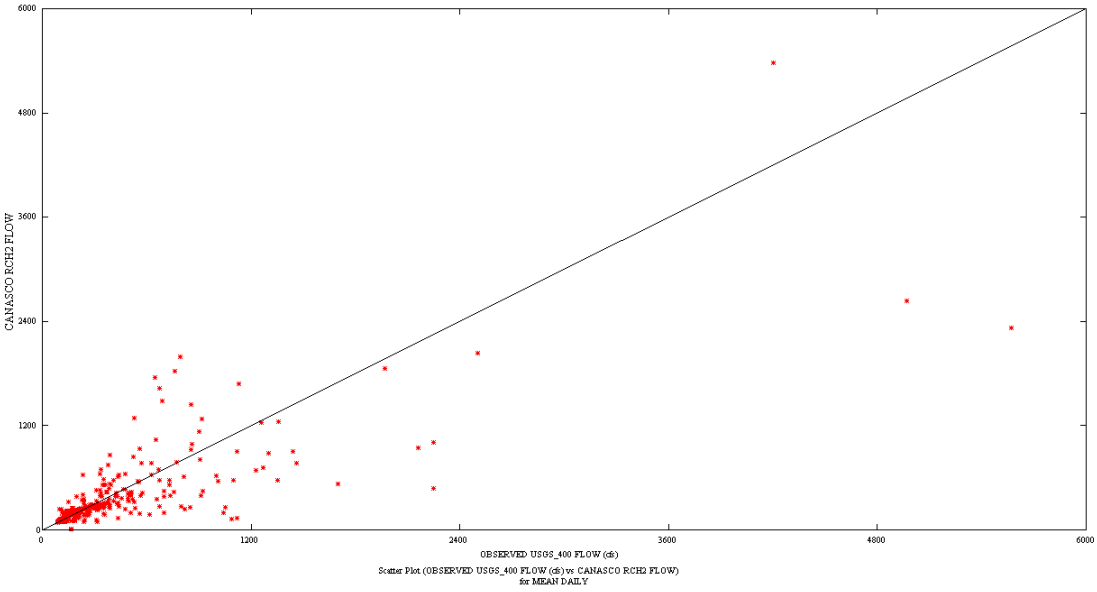


Figura 5.12 Diagrama de esparcimiento para la estación USGS 50144000.

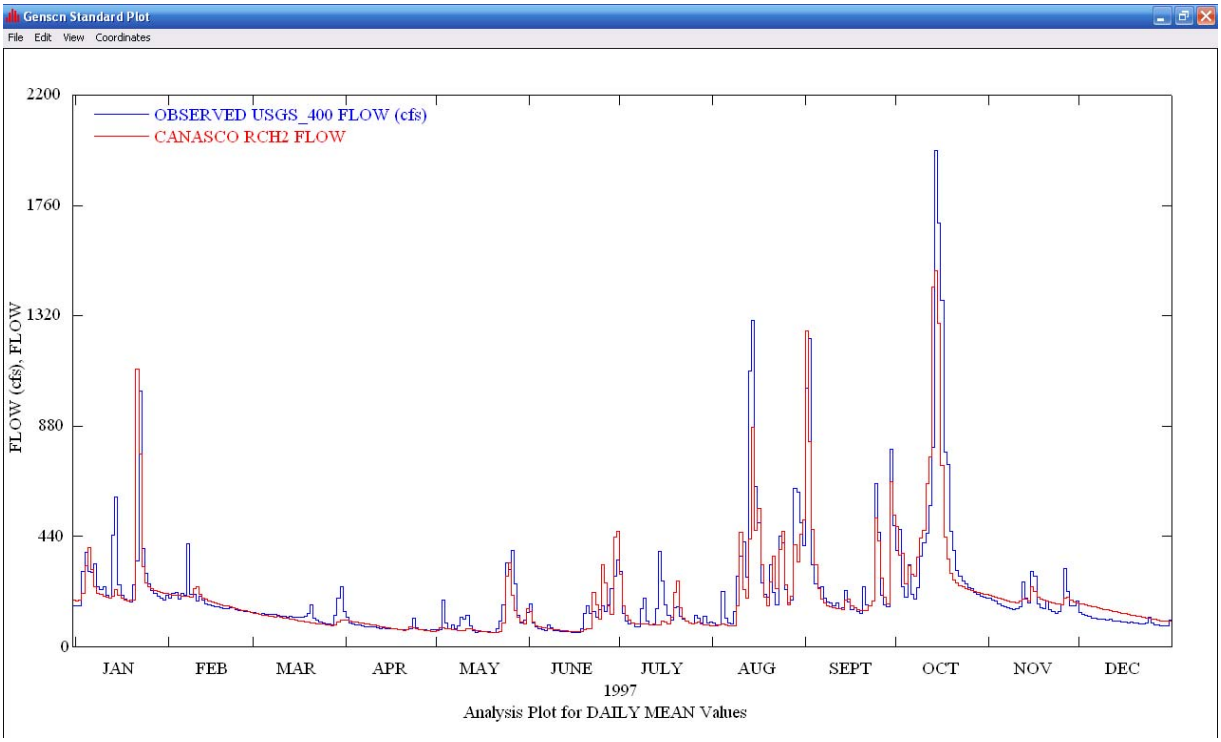


Figura 5.13 Validación hidrológica para la estación USGS 50144000.

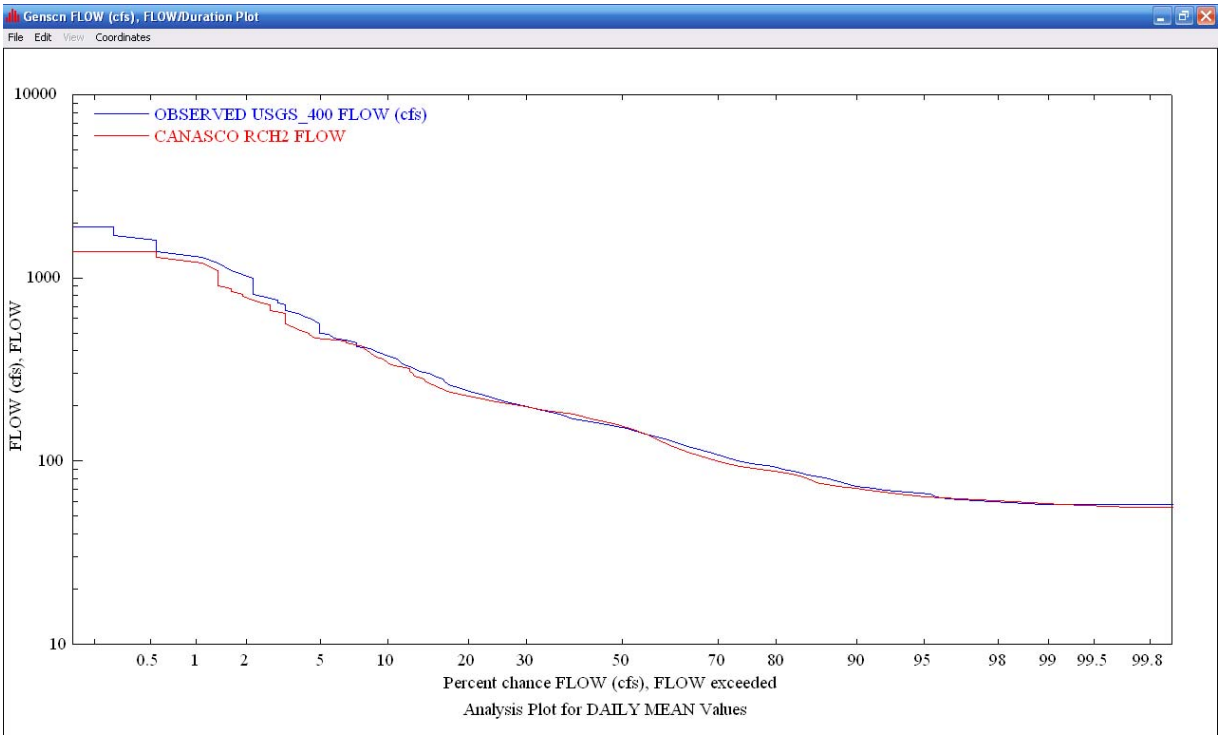


Figura 5.14 Curva de duración- frecuencia para la validación hidrológica (Año 1997).

Para la calibración de coliformes fecales se tuvieron en cuenta 6 parámetros principalmente: *FSTDEC, WSQOP-P, SQOLIM-P, SQO-P, SQOLIM-I* y *SQOS-P. SQOS-P* fue calibrado en base a valores reportados en estudios previos (Paul et al, 2004). Valores mensuales para MON-SQOLIM, fueron calculados con una herramienta desarrollada en Excel por los creadores de **HSPF**, denomina "Bacterial Indicator Tool", la cual estima la contribución de coliformes fecales por las diferentes fuentes presentes en la cuenca. *SQOLIM* es el almacenamiento máximo de coliformes fecales en la superficie del terreno; este parámetro fue inicialmente estimado con la herramienta y luego calibrado para ajustar la respuesta del modelo. Este parámetro presentó una gran sensibilidad en el modelo, puesto que permite marcar las diferencias estacionales durante los periodos de calibración y validación del modelo para cada uso del suelo. Los valores de *MON-SQOLIM* variaron entre $1x10^{10}$ y $1x10^{20}$ libras/acre/mes.

El siguiente grupo de parámetros calibrados son los que intervienen en la concentración de coliformes fecales, representados por *WSQOP* permeable e impermeable y *FSTDEC*. *WSQOP-I* fue calibrado con un valor de 20 pulgadas/hr y *WSQPO-P* fue calibrado a 38.5 pulgadas/hora, partiendo de la base que se necesitaba más escorrentía en el terreno permeable para remover ese porcentaje de bacterias. *FSTDEC* fue calibrado a un valor de 1.2 $día^{-1}$. *SQO-P* que representa el almacenamiento de coliformes fecales en la superficie permeable (UFC/acre), fue calibrado hasta lograr un buen ajuste del modelo con un valor de 1×10^9 para la totalidad de la cuenca. La contaminación fecal

proveniente de aguas subterráneas no es tomada en cuanta para efectos del modelo, pero si la relacionada con el interflujo que esta estrechamente relacionado a la contaminación por pozos sépticos. En el Apéndice C se enseñan los valores calibrados para la simulación de coliformes fecales.

El desempeño de modelos relacionados a calidad de agua deben ser basados preliminarmente en representaciones gráficas, puesto que en muchas ocasiones la frecuencia de los datos observados y los simulados es diferente, y los indicadores estadísticos son inadecuados para este tipo de muestras (Donigian, 2002). Los muestreos de coliformes fecales en las estaciones de calidad en la cuenca (Tabla 4.6), se hacen esporádicamente en el transcurso del año, y los valores simulados son calculados diariamente por el modelo, por esta razón los indicadores estadísticos no son adecuados para este análisis. Sin embargo, las representaciones gráficas de las concentraciones observadas y simuladas muestran las tendencias estacionales, y el ajuste en los valores que cuentan con datos observados. La Figura 5.15, muestra los resultados de la calibración de coliformes fecales. Se observa que el modelo predice acertadamente las concentraciones bajas y medias de coliformes fecales, sin embargo existen dos eventos que el modelo no predice correctamente que son los meses de abril y noviembre, los cuales corresponden a concentraciones pico. Probablemente, el valor observado para el mes de Noviembre corresponda a un error en el momento de la medición, ya que los caudales representados para ese mes no presentan valores tan grandes, o a que existía una descarga directa en

el río. En términos generales la tendencia de los valores simulados es acorde con las concentraciones observadas.

La validación para coliformes fecales se observa en la Figura 5.16. Para este periodo el modelo predice adecuadamente las concentraciones medias y bajas. La tendencia de los valores simulados es acorde a las concentraciones observadas. El número de ocurrencias de eventos de coliformes fecales (picos en las figuras) para el periodo de validación es menor que para el periodo de calibración, esto se atribuye a que el año 1996 fue un año muy lluvioso, y por el contrario el año 1997 fue un año seco. El modelo representa adecuadamente estos dos tipos de condiciones.

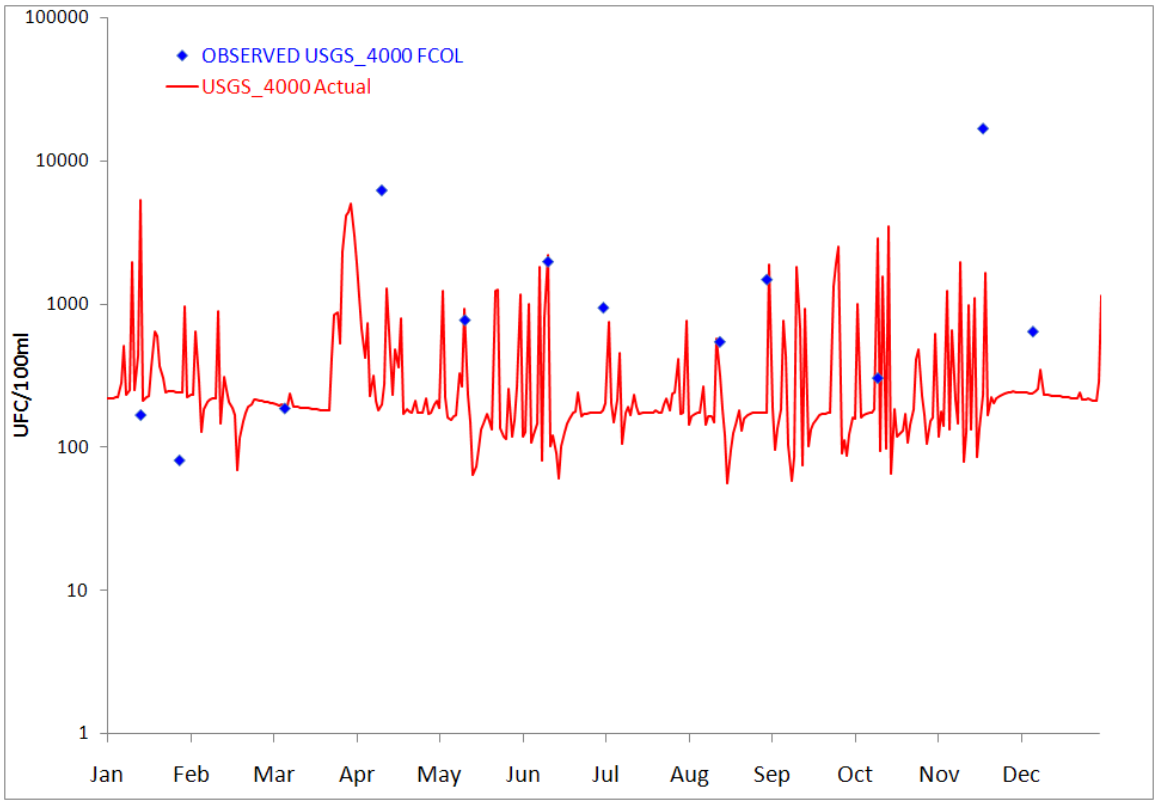


Figura 5.15 Calibración para coliformes fecales de la estación USGS 50144000 (Año 1996).

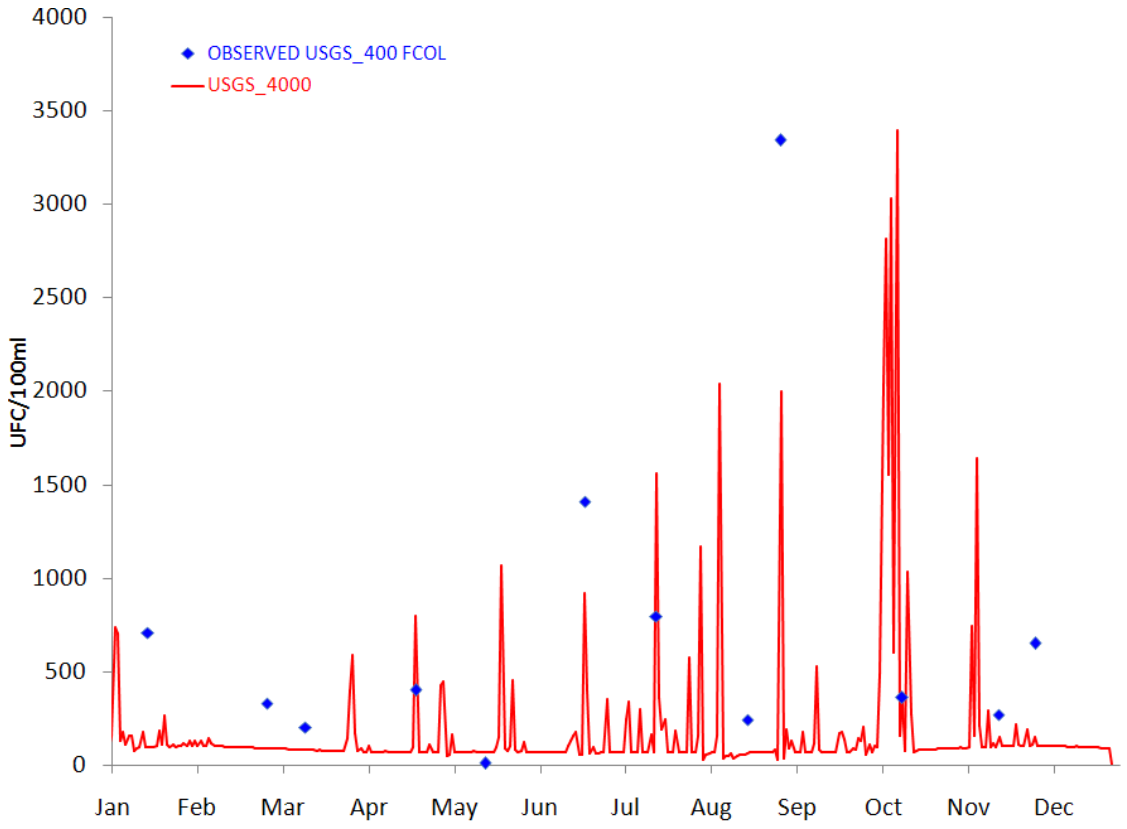


Figura 5.16 Validación para coliformes fecales en la estación USGS 50144000 (Año 1997)

5.2 Reducciones requeridas

Con el modelo calibrado y validado se realizó un análisis para determinar la reducción porcentual de las cargas de coliformes fecales, que deben hacer las diferentes fuentes presentes en la cuenca y así cumplir con los estándares de calidad de agua exigidos por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico. La norma establece que el promedio geométrico de por lo menos 5 muestras consecutivas no debe sobrepasar la concentración de 200 colonias/100 ml (Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, 2003). Para tal fin se analizaron las

cargas de coliformes fecales de las diferentes fuentes que se están aplicando al río por efecto de la escorrentía, y así determinar cuáles son las fuentes que más aportan a la contaminación fecal en la cuenca. Una vez identificadas estas fuentes se procedió a aplicar reducciones relacionadas a Mejores Prácticas de Manejo (MPM). En el Apéndice D se presentan las Violaciones de coliformes fecales para el modelo calibrado en HSPF.

5.2.1 Producción de coliformes fecales actual

Para determinar la producción de coliformes fecales por cada fuente se empleó el "Bacterial Indicator Tool", el cual relaciona el uso del terreno, el número de animales y la producción de coliformes fecales por cada tipo de fuente. Las fuentes presentes en la cuenca son vida silvestre, cerdos, vacas, pollos, urbano y pozos sépticos. En la Tabla 5.4 se muestra la producción de coliformes fecales por cada fuente en cada una de las cuencas y en la Figura 5.17 , Figura 5.18 y Figura 5.19 se muestra la distribución porcentual de la producción de coliformes fecales por cada tipo de fuente para las tres subcuencas.

Tabla 5.4 Producción de coliformes fecales por tipo de fuente (UFC/acre/día).

Fuente / Cuenca	Vida silvestre	Cerdos	Vacas	Pollos	Urbano	Pozos sépticos
USGS_3000	3.32×10^{6}	0	0	8.96×10^{8}	1.22×10^{7}	5.53×10^{8}
USGS_4000	6.82×10^{5}	3.21×10^{9}	8.27×10^{9}	0	0	1.33×10^{9}
USGS_6000	1.67×10^{6}	2.35×10^{9}	0	0	1.22×10^{7}	4.29×10^{8}

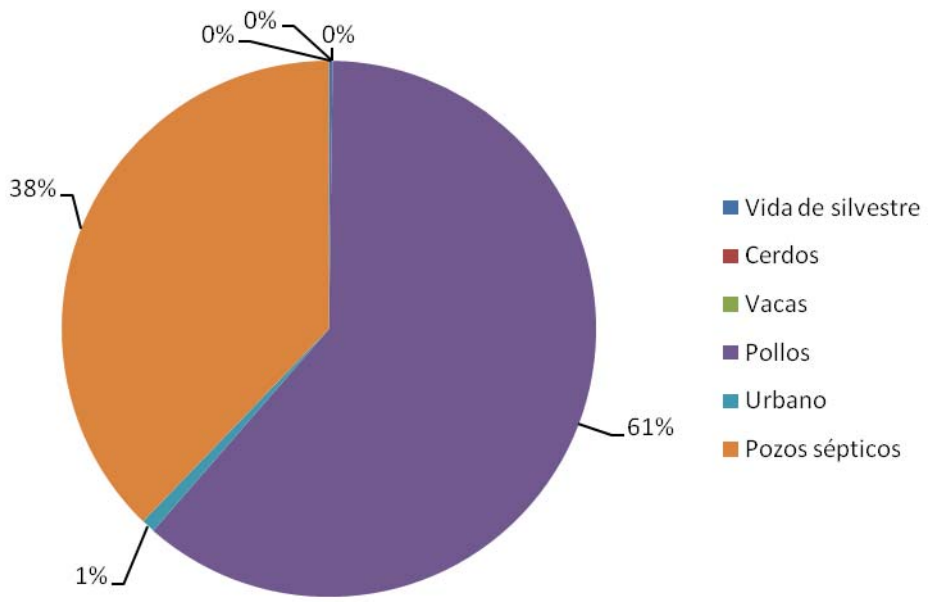


Figura 5.17 Distribución de producción de coliformes fecales (UFC/acres/día) en la subcuenca USGS_3000

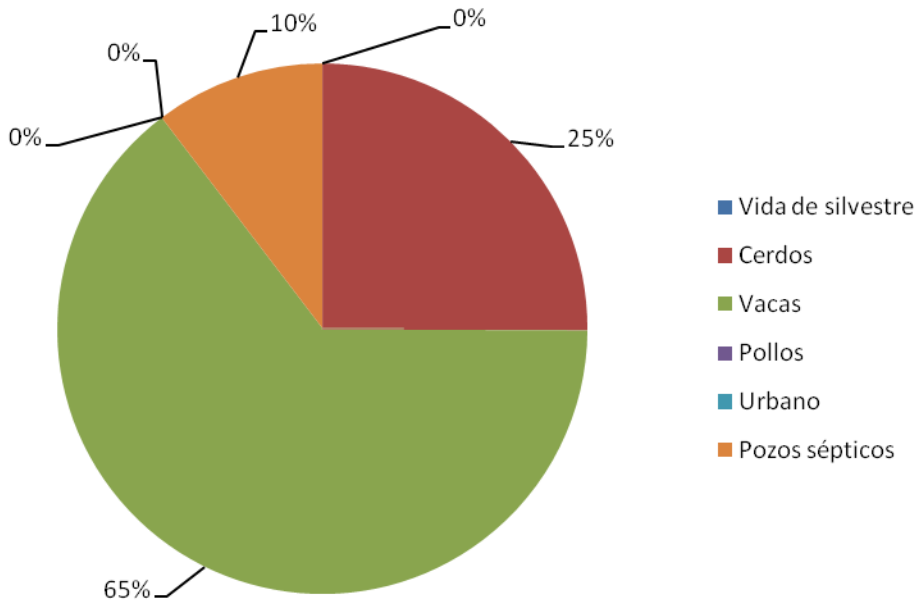


Figura 5.18 Distribución de producción de coliformes fecales (UFC/acres/día) en la subcuenca USGS_4000

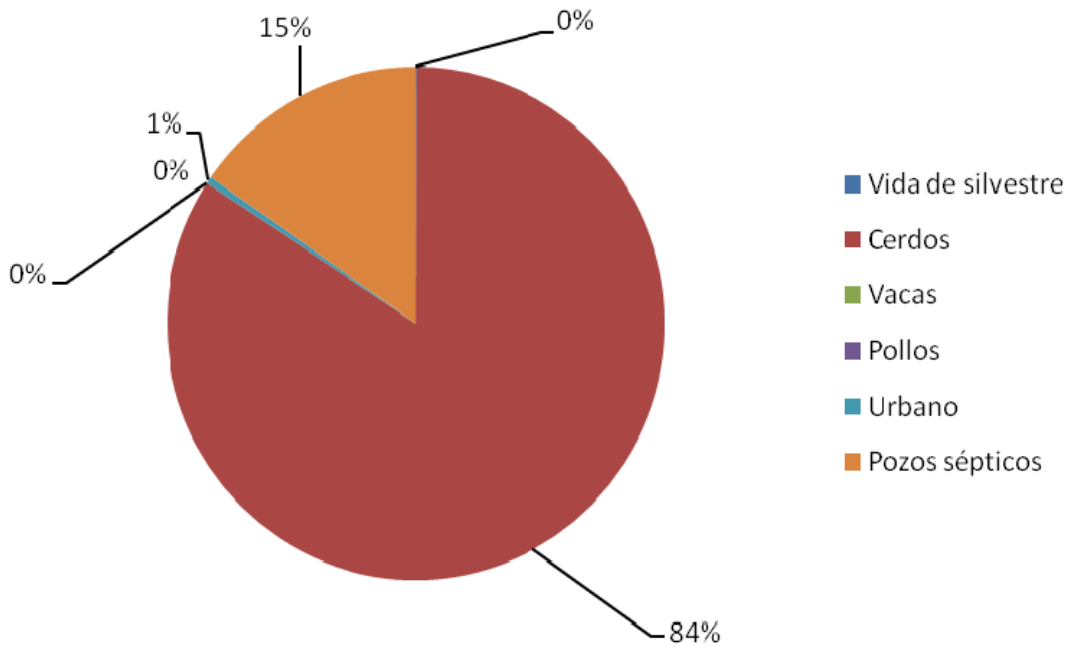


Figura 5.19 Distribución de producción de coliformes fecales (UFC/acres/día) en la subcuenca USGS_6000

Para realizar la prueba de reducciones por cada tipo de fuente se analizó cuales son las fuentes que más contribuyen a la contaminación fecal en el río y se determinó que en la subcuenca USGS_3000 la mayor parte de la carga de coliformes fecales se debe a la presencia de la industria avícola y de pozos sépticos. Por otra parte, en la subcuenca USGS_4000 se atribuye la presencia de coliformes fecales a las fincas porcinas y ganaderas, y por último, en la subcuenca USGS_6000 las fincas porcinas y los pozos sépticos son las causantes de la mayor carga de coliformes fecales.

5.2.2 Mejores prácticas de manejo para coliformes fecales

HSPF permite asignar Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para cada una de las actividades que se presentan en la cuenca, estas prácticas consisten en porcentajes de reducción de contaminación por fuente que se logran aplicando técnicas para mitigar impactos ambientales. Adicionalmente, esta reducción tiene una eficiencia de remoción, que depende del tipo de práctica que se emplee y del tipo de contaminante.

Para mitigar el impacto de la industria porcina y las vaquerías se empleó la técnica de charcas de retención, con una eficiencia de remoción del 80%. Para la industria avícola se empleó la técnica de estercoleras con una eficiencia de remoción del 76% y en el caso de los pozos sépticos se empleó una eficiencia de remoción del 100%. Este porciento de remoción se puede lograr mediante campañas educativas a la comunidad en cuanto a la reparación y operación de los pozos sépticos. Es recomendable que tanto el gobierno estatal como municipal se envuelvan en esta práctica ofreciendo incentivos para reparar los pozos sépticos y ofreciendo el servicio gratuito de vaciado de pozos en comunidades de pocos recursos económicos. Se consideraron porcentajes de reducción de cargas del 25%, 50%, 75% y 100% a las fuentes que más contribuyen coliformes fecales en cada subcuenca, para así encontrar la reducción óptima. Dos variables fueron evaluadas aplicando las MPM; una está relacionada con la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en cada punto de cierre de las subcuencas y la otra corresponde al número de violaciones en la concentración (concentraciones mayores a 200UFC/100 ml) para el año de

calibración. En la Tabla 5.5, Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se presentan las reducciones para masa total de coliformes fecales en cada una de las cuencas.

Tabla 5.5 Masa total de coliformes fecales (UFC/año) para varios grados de reducción en pozos sépticos y pollos en la subcuenca USGS_3000.

Pozos S. / Pollos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	6.52E+12	6.52E+12	6.36E+12	6.20E+12	6.03E+12
25 %	5.28E+12	5.12E+12	4.96E+12	4.79E+12	4.63E+12
50 %	3.88E+12	3.72E+12	3.55E+12	3.39E+12	3.23E+12
75 %	2.48E+12	2.31E+12	2.15E+12	1.99E+12	1.82E+12
100 %	1.07E+12	9.09E+11	7.46E+11	5.83E+11	4.19E+11

Tabla 5.6 Masa total de coliformes fecales (UFC/año) para varios grados de reducción en vacas y cerdos en la subcuenca USGS_4000.

Vacas / Cerdos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	6.19E+13	5.29E+13	4.38E+13	3.47E+13	2.57E+13
25 %	5.81E+13	4.90E+13	4.10E+13	3.09E+13	2.19E+13
50 %	5.43E+13	4.52E+13	3.61E+13	2.71E+13	1.80E+13
75 %	5.04E+13	4.14E+13	3.23E+13	2.33E+13	1.42E+13
100 %	4.66E+13	3.75E+13	2.85E+13	1.94E+13	1.04E+13

Tabla 5.7 Masa total de coliformes fecales (UFC/año) para varios grados de reducción en pozos sépticos y cerdos en la subcuenca USGS_6000.

Pozos S. / Cerdos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	6.62E+13	6.61E+13	6.59E+13	6.58E+13	6.57E+13
25 %	6.58E+13	6.57E+13	6.55E+13	6.54E+13	6.53E+13
50 %	6.53E+13	6.52E+13	6.50E+13	6.49E+13	6.48E+13
75 %	6.49E+13	6.48E+13	6.46E+13	6.45E+13	6.44E+13
100 %	6.45E+13	6.44E+13	6.42E+13	6.41E+13	6.40E+13

Los resultados anteriores pueden apreciarse más claramente en la Figura 5.20, Figura 5.21 y Figura 5.22. En la subcuenca USGS_3000 se observa que la industria avícola presenta mayor variabilidad frente a la introducción de las MPM. En la subcuenca USGS_4000 se observa que las reducciones en las vaquerías disminuyen en mayor proporción la masa de coliformes fecales, y por último en la subcuenca USGS_6000 se aprecia que la industria porcina logra mayor reducción de la masa total de coliformes fecales en presencia de las MPM.

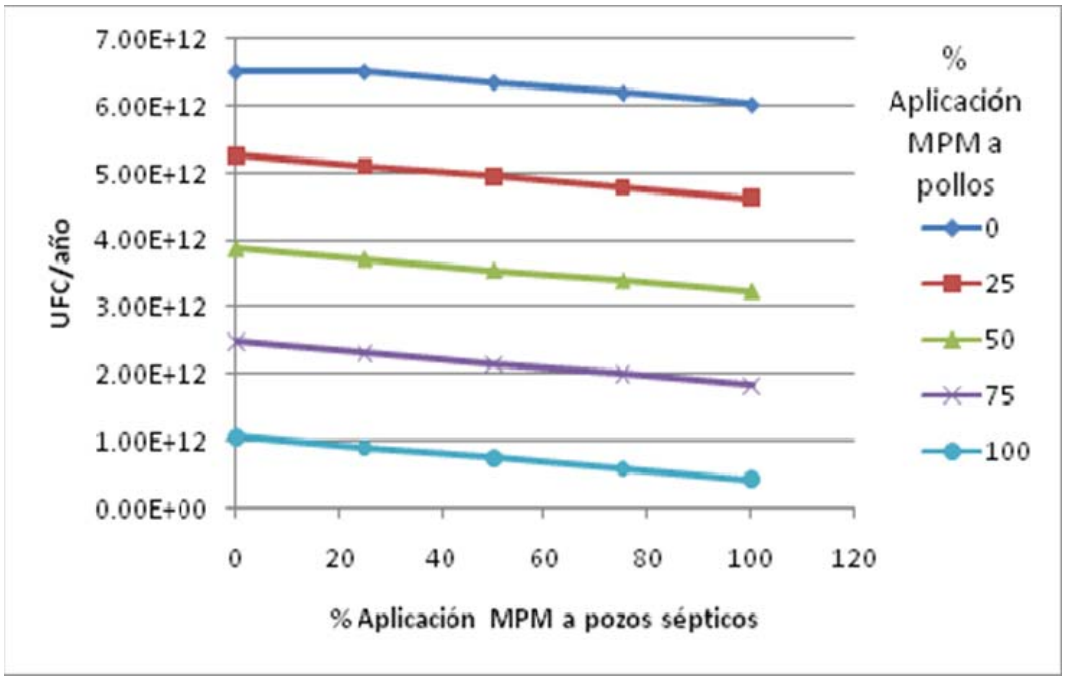


Figura 5.20 MPM para la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en la subcuenca USGS_3000.

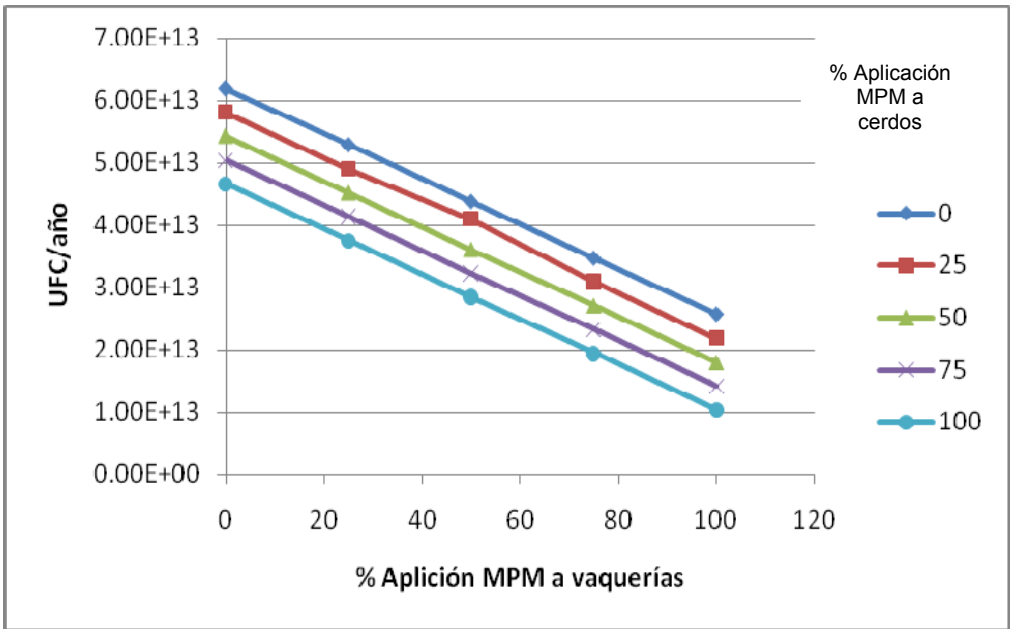


Figura 5.21 MPM para la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en la subcuenca USGS_4000.

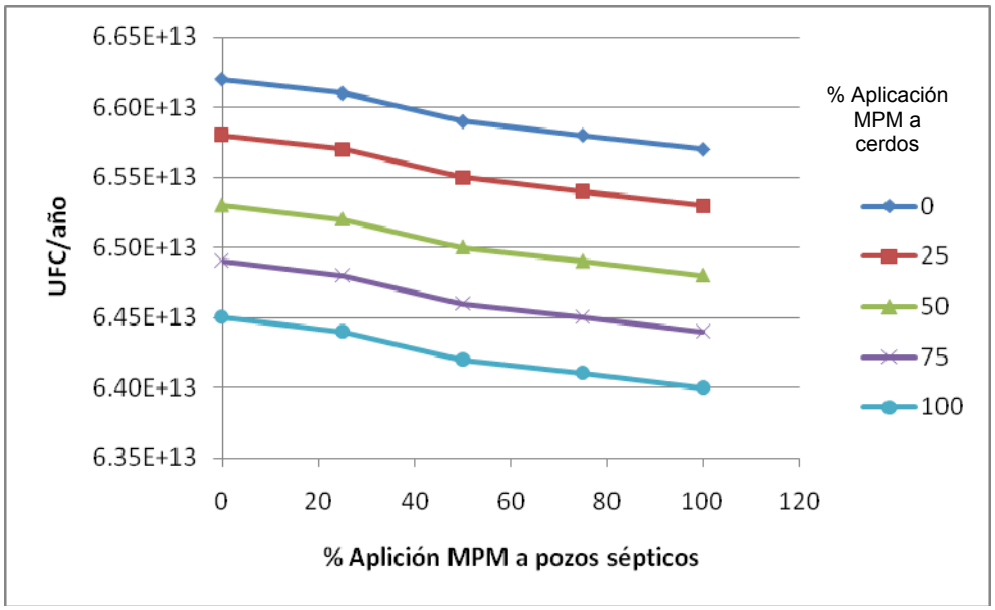


Figura 5.22 MPM para la masa total de coliformes fecales (UFC/año) en la subcuenca USGS_6000.

EL siguiente análisis que se desarrolló para observar los efectos de las MPM, se hizo en base al número de violaciones en la concentración de coliformes fecales en las tres estaciones ubicadas en el río (USGS_3000, USGS_4000 y USGS_6000), utilizando el promedio geométrico para 5 muestras de coliformes fecales. En la Figura 5.23 se presentan las violaciones en la estación de calidad USGS_3000, es decir el número de concentraciones que sobrepasan 200UFC/ml, que para ésta estación pudieron haberse ocurrido 22 violaciones a la norma. De manera similar los resultados para la estaciones USGS_4000 y USGS_6000 se presentan en la Figura 5.24 y en la Figura 5.25, respectivamente. Aquí se observa que para la estación USGS_4000 pudieron ocurrir 60 violaciones y para la estación USGS_6000 76 violaciones.

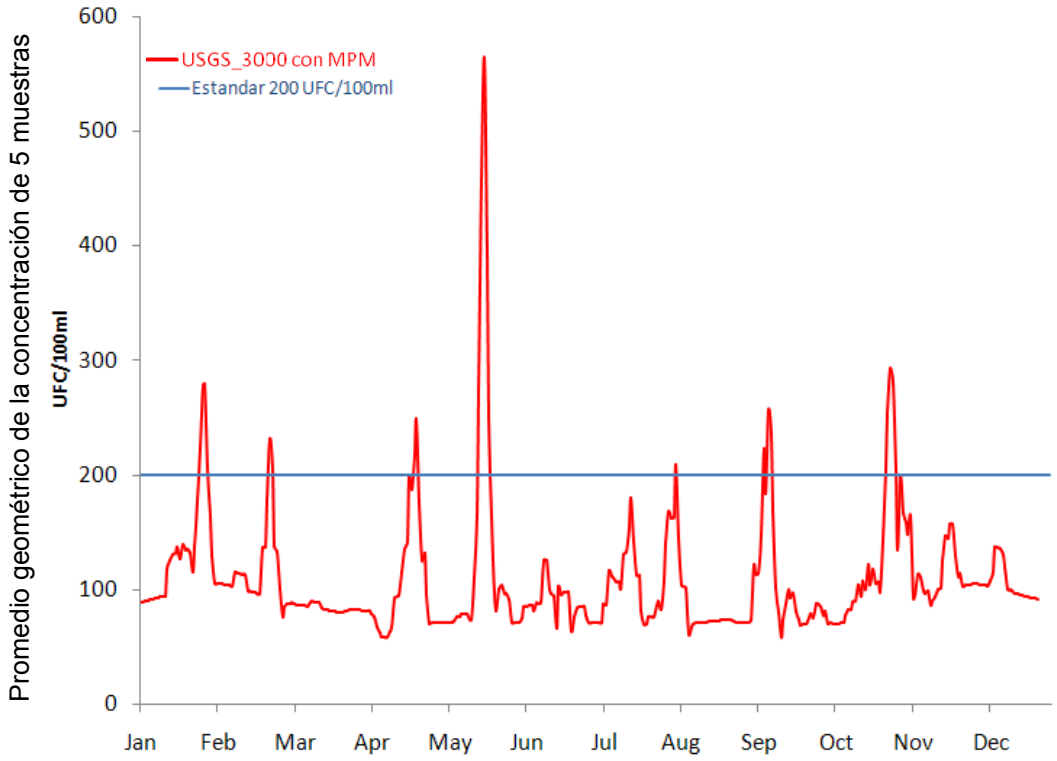


Figura 5.23 Violaciones de coliformes fecales en la subcuenca USGS_3000 (Año 1996), según la simulación.

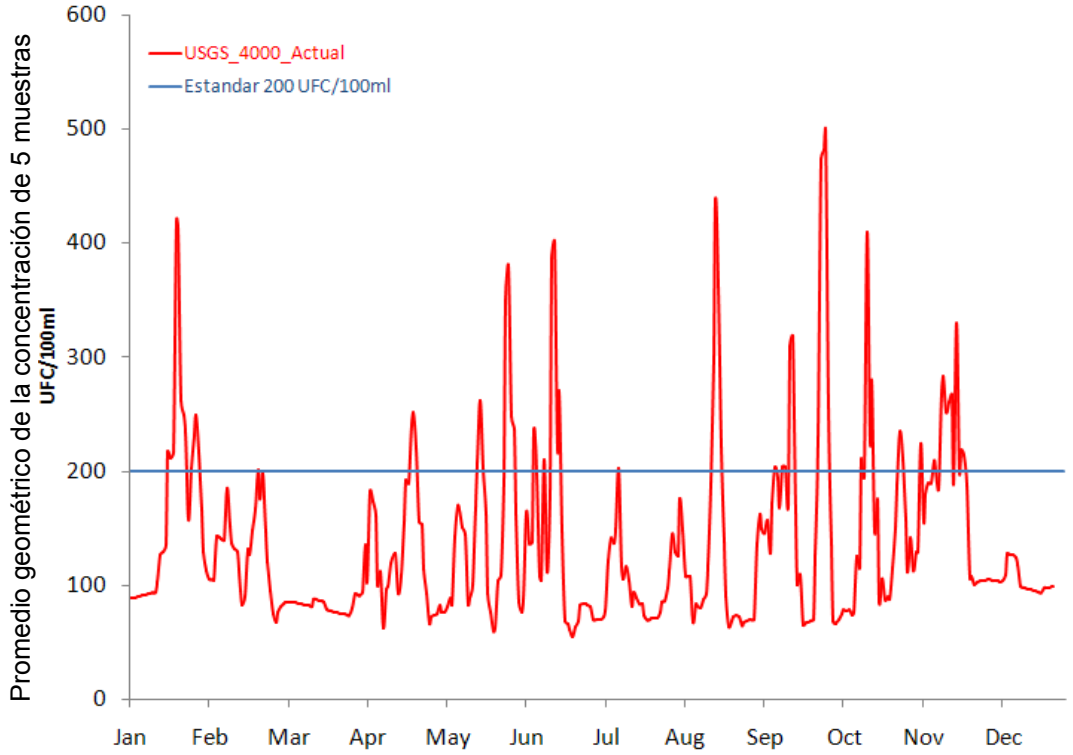


Figura 5.24 Violaciones de coliformes fecales en la subcuenca USGS_4000. (Año 1996) según la simulacion.

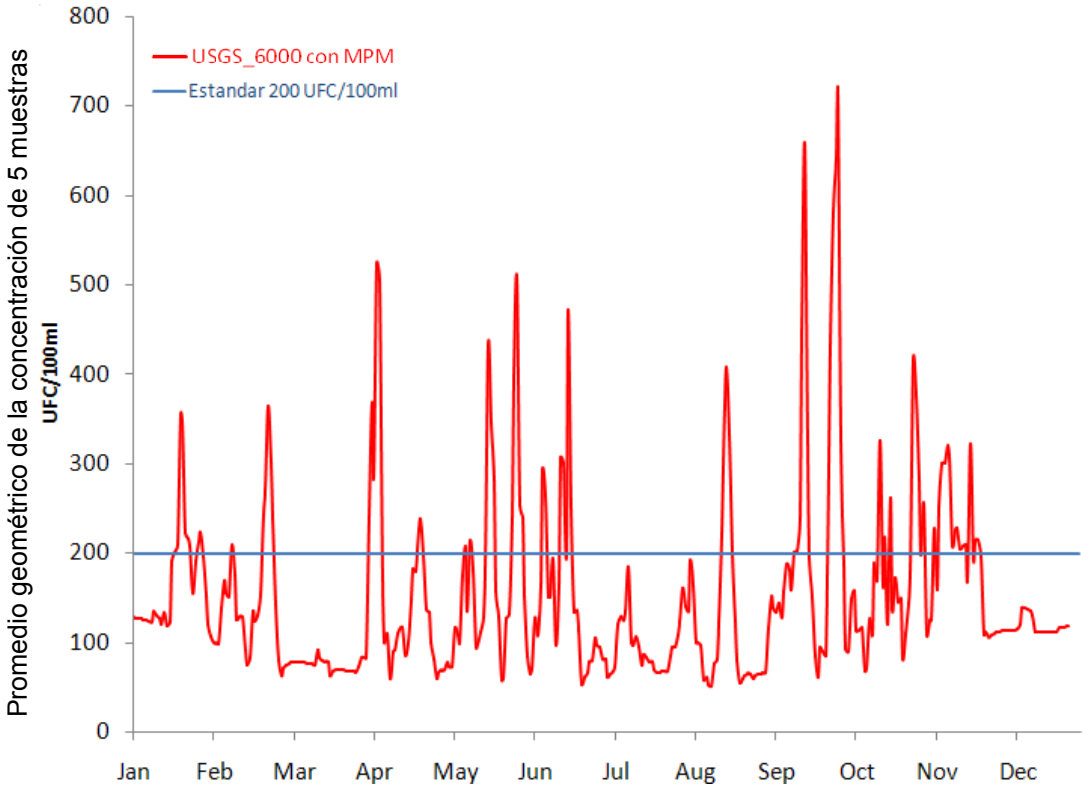


Figura 5.25 Violaciones de coliformes fecales en la subcuenca USGS_6000. (Año 1996) según la simulacion.

Las reducciones que se analizaron en este estudio fueron del 25%, 50% 70% Y 100% de acuerdo a las eficiencias de remoción de las MPM en las fuentes que más aportan a la contaminación fecal en cada cuenca. Para este análisis se presenta el número de violaciones, empezando con el 0% de reducción que equivale a la condición actual, hasta una reducción del 100%, con el fin de evaluar cual de las fuentes tiene mayor influencia en las violaciones y encontrar el porcentaje de reducción óptimo, que puede ser utilizado para efectos de planificación.

La aplicación de las MPM en la estación USGS_3000 para los pozos sépticos causa un mayor efecto en la disminución de las probables violaciones que las de la industria avícola, como se puede observar en Tabla 5.8. Una interpretación de esta tabla es que con una reducción del 100% de los pozos sépticos (colocando sistema de alcantarillado) se cumpliría con el estándar de calidad sin necesidad de aplicar reducciones en la industria avícola. Sin embargo, es aconsejable hacer reducciones más equitativa, como por ejemplo una reducción del 75% en los pozos sépticos, y de un 50% en la industria avícola. Se observa en la Tabla 5.9 que con ninguna de las combinaciones de reducción podría cumplir en un 100% de las ocasiones con el estándar para la estación USGS_4000, esto se debe a la presencia de una tercera fuente que está contribuyendo, que son los pozos sépticos, y a la concentración previa de coliformes fecales del río. Por último en la Tabla 5.10 se observa que ninguna

de las combinaciones de reducción de pozos sépticos con la industria porcina en la estación USGS_6000 podría cumplir con el estándar, y que las reducciones logradas serían mínimas, esto se debe a que el río en todo su trayecto viene con concentraciones altas que no pueden ser tratadas únicamente al final de la cuenca, sino que, por lo contrario deben tratarse de manera integrada para cumplir con la reglamentación efectivamente.

Tabla 5.8 Probable número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_3000.

Pozos S. / Pollos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	21	13	7	0	0
25 %	16	10	4	0	0
50 %	14	8	4	0	0
75 %	12	6	3	0	0
100 %	9	6	3	0	0

Tabla 5.9 Probable número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_4000.

Cerdos / Vacas	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	65	61	58	52	48
25 %	54	51	49	44	41
50 %	47	44	41	33	26
75 %	40	34	26	19	12
100 %	25	17	13	9	8

Tabla 5.10 Probable número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_6000.

Pozos S. / Cerdos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	76	76	76	75	74
25 %	76	75	74	73	72
50 %	74	74	72	69	71
75 %	73	71	71	69	69
100 %	70	70	69	67	67

Con el fin de cumplir con el estándar de calidad de 200 colonias/100 ml se integró la reducción de cargas de las tres subcuencas, utilizando la combinación óptima, que para la cuenca USGS_3000 corresponde a una reducción del 75% en los pozos sépticos, para la USGS_4000 una reducción del 50% en la industria porcina y del 75% en las vaquerías y, por último una reducción del 75% en la industria porcina y del 50% en los pozos sépticos para la cuenca USGS_6000. Con esta combinación se logra cumplir efectivamente con el estándar de calidad en la totalidad del río. En la Tabla 5.11,Tabla 5.12 y Tabla 5.13 se presenta el número de violaciones empleando las combinaciones óptimas para cada subcuenca. La Figura 5.26, Figura 5.27 y Figura 5.28 se presenta la concentración de coliformes fecales para cada subcuenca aplicando las reducciones óptimas combinada que logran evitar alcanzar los 200 UFC/100ml.

Tabla 5.11 Número de violaciones de coliformes fecales con MPM combinadas en la estación USGS_3000.

Pozos S. / Pollos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	21	13	7	0	0
25 %	16	10	4	0	0
50 %	14	8	4	0	0
75 %	12	6	3	0	0
100 %	9	6	3	0	0

Tabla 5.12 Número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_4000.

Cerdos / Vacas	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	35	32	27	24	16
25 %	27	25	15	8	2
50 %	23	18	9	3	0
75 %	20	11	0	0	0
100 %	17	6	0	0	0

Tabla 5.13 Número de violaciones de coliformes fecales con MPM en la estación USGS_6000.

Pozos S. / Cerdos	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
0 %	43	31	26	21	12
25 %	34	23	18	11	5
50 %	26	16	6	4	0
75 %	17	12	0	0	0
100 %	8	4	0	0	0

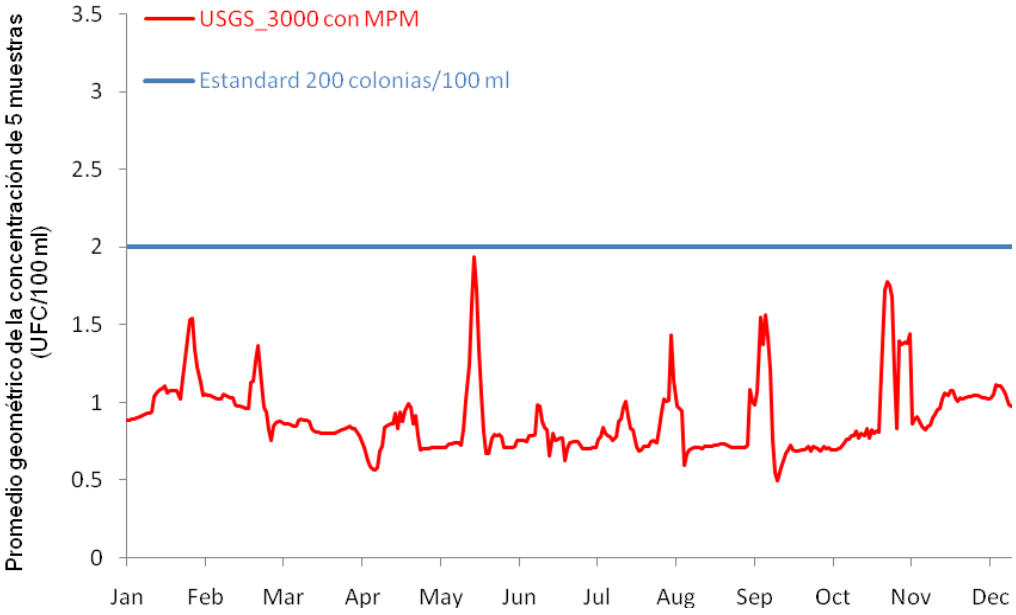


Figura 5.26 MPM óptimas para la subcuenca USGS_3000.

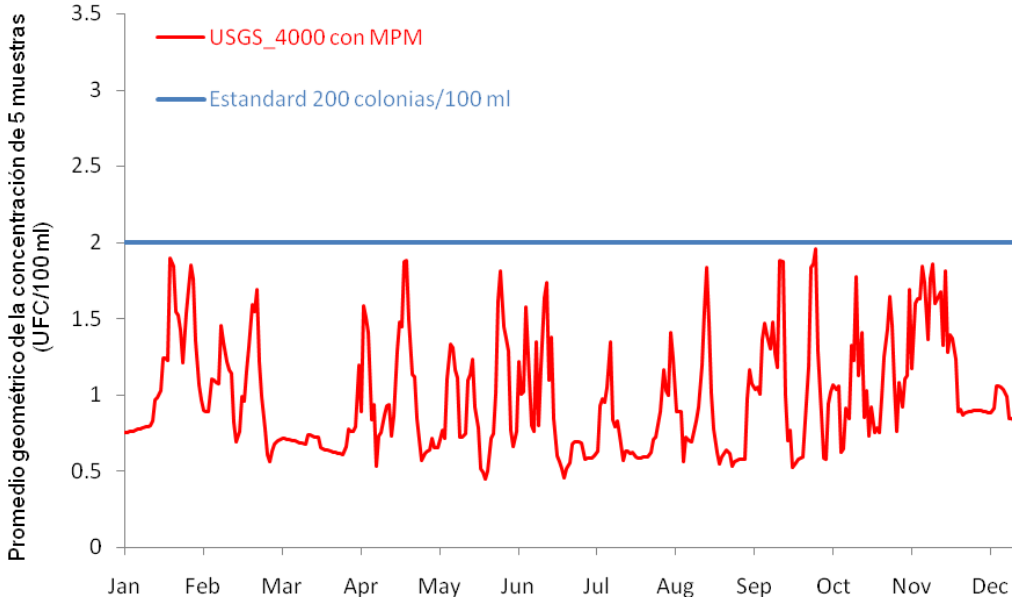


Figura 5.27 MPM óptimas para la subcuenca USGS_4000.

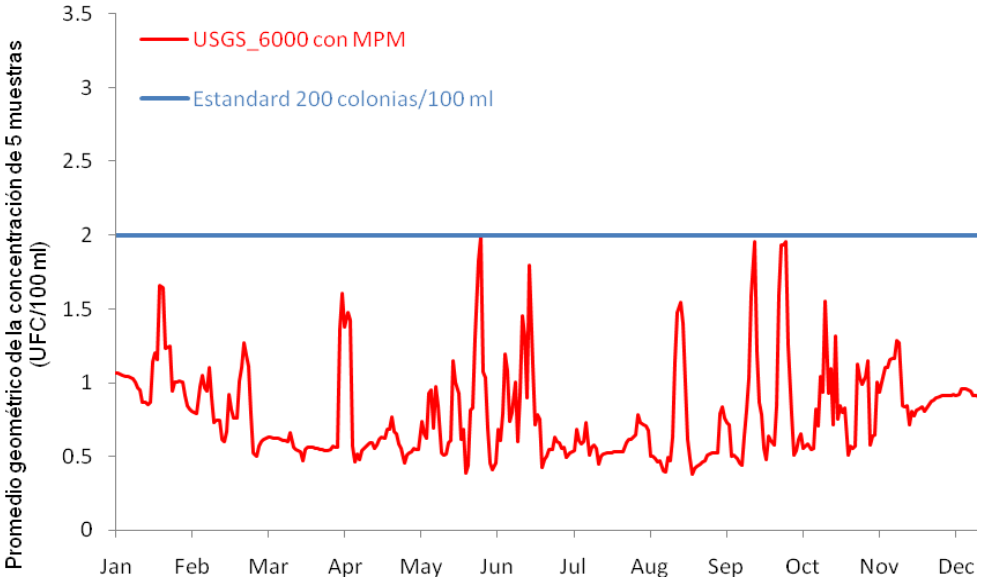


Figura 5.28 MPM óptimas para la subcuenca USGS_6000.

6 Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos con el Índice de Áreas Potencialmente Susceptibles a Contaminación Fecal, IAPSCF.

- La identificación de áreas potencialmente susceptibles a contaminación fecal en la cuenca fue posible mediante la integración de mecanismos de transporte para coliformes fecales conformados por las propiedades de infiltración, distancia de los ríos y la pendiente del terreno; la razón de producción de coliformes fecales y el efecto de la temperatura.
- De estos factores los que más afectan el transporte de coliformes fecales son el coeficiente de escorrentía y la distancia entre las fuentes y los cuerpos de agua.
- IAPSCF está altamente relacionado con las áreas que cuentan con servicio de alcantarillado y pozos sépticos.

Con los resultados obtenidos en la calibración del modelo para coliformes fecales se puede concluir lo siguiente:

- Los parámetros que presentaron mayor sensibilidad de acuerdo al análisis de sensibilidad para calibración hidrológica fueron *INFILT* (razón de infiltración del suelo) y *AGWRC (*recesión diaria del flujo

de agua subterránea), lo que indica que los procesos hidrológicos en la cuenca del Río Grande de Añasco están estrechamente relacionados con los procesos de infiltración y con la interacción del agua subterránea con el río. Suárez-Narváez (2005) reportó a *INFILT* y *AGWRC* como parámetros sensibles para calibración de flujo en **HSPF**, así como Alarcon V. et al (2006), al parámetro *INFILT.*

- Con el análisis de sensibilidad para coliformes fecales se encontró que *WSQOP-P* (es la razón de escorrentía superficial que remueve el 90 % de las bacterias almacenadas en la superficie permeable del terreno) es un parámetro muy sensible para la calibración de coliformes fecales, ya que este representa la razón de arrastre de los coliformes fecales almacenados en la superficie del terreno por acción de la escorrentía.

- El parámetro ACQOP mensual (calcula la razón de acumulación de bacterias la superficie del terreno) también conocido como MON-ACCUM es indispensable para la calibración de coliformes fecales y debe ser calculado en base a inventarios de todas las fuentes de presentes en la cuenca. MON-ACCUM representa la carga de coliformes fecales provenientes de las diferentes fuentes en cada uso del terreno de la cuenca. Los valores de este parámetro oscilaron entre 1.1×10^5 4.0×10^9 Kg/Ha·día.

- El modelo calibrado para coliformes fecales presenta gráficamente las tendencias estacionales de los datos observados. Sin embargo no hay suficiente número de mediciones de coliformes fecales en la cuenca, para hacer una calibración más fiel a la realidad.
- El modelo calibrado para la cuenca del Río Grande de Añasco es una herramienta de planificación muy útil, con la cual se pueden tomar futuras decisiones acerca de la mitigación de impactos ambientales ocasionados por la contaminación fecal.
- Las fuentes que más contribuyen a la contaminación fecal en la subcuenca USGS_3000 son la industria avícola y los pozos sépticos, en la USGS_4000 las vaquerías y la industria porcina, y en la USGS_6000 la industria porcina y los pozos sépticos.
- Las MPM pueden producir resultados positivos para la disminución del número de violaciones del estándar de coliformes fecales de calidad si se aplican en la totalidad de la cuenca. Por esto, es necesario aplicar reducciones en conjunto en las tres subcuencas para alcanzar la meta deseada.

Las recomendaciones para este trabajo son:

- Verificar en campo los resultados generados por el IAPSCF y así confirmar las posibles fuentes en estas áreas y verificar si en las

áreas susceptibles a contaminación fecal se encuentran fuentes no reportadas en los inventarios utilizados en este trabajo.

- Hacer muestreos con mayor frecuencia de coliformes fecales en la estación que es el punto de salida de la cuenca con el fin disminuir la incertidumbre del modelo debido a la poca disponibilidad de datos para calibrarlo y validarlo.

Referencias

Anderson, J., Hardy, E., Roach, T., y Witmer, R.,1976. “A Land Use and Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data". Geological Survey Professional Paper 964.

Aqua Terra Consultants, 2001. Watershed Data Management versión 2.3. GenScn Software.

Aqua Terra Consultants, 2004a. Watershed Data Management versión 2.27. Weather Data Management Software.

Aqua Terra Consultants, 2004b. Watershed Data Management versión 2.27. WinHSPF Software.

Aqua Terra Consultants, 2004c. BASINS Training: Lecture 7 – “Hydrologic Processes, Parameters, and Calibration”. http://www.epa.gov/waterscience/basins/training.htm

Aqua Terra Consultants, 2004d. BASINS Training: Exercise 5- “WinHSPF Hydrology Calibration”. http://www.epa.gov/waterscience/basins/training.htm

ArcMap 9.1, 2005. Versión 9.1 para Windows. ESRI. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc.

Bellal, M., Sillen, X., Zeck, Y., 1996. “Coupling GIS with a distributed hydrological model for studying the effect of various urban planning options on rainfall-runoff relationship in urbanized basins”. Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management: International Association of Hydrological Sciences, Series of Proceedings and Reports, 235, 99-106

Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, J. L., Donigian, A. S. y Johanson, R.C., 1996. “Hydrological Simulation Program - FORTRAN Users Manual for Release 11, U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

Caraco, D. 2001. The Watershed Treatment Model, Version 3.0. Center for Watershed Protection, Ellicott City, Maryland.

Chigbu, P., Gordon, S., Strange, T.R. 2005. “Fecal Coliform Bacteria disappearance rates in a north-central Gulf of Mexico Estuary”. Estuarine, Coastal and Shelf Science 65 (2005) 309e318. 10 p.

Corvera, R., 2005. Aportación de Nitrógeno, Fósforo y Sedimentos Suspendidos Durante Eventos de Tormenta en Micro Cuencas del Río Grande de Añasco, Puerto Rico. Tesis de maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.

Crawford, N. H., y Linsley, R. K., 1966. "Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV". Technical Report, Vol. 39, Civil Engineering Department, University of Stanford, Palo Alto, CA.

Deursen, V. Wesseling, C. (1996). Integrating dynamic environmental models in GIS: the development of a prototype dynamic simulation language. In Proceedings, HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management .

Donigian, A.S., 1995. "Modeling Watershed Water Quality". In: Environmental Hydrology. Vijay P. Singh, Editor. University of Louisiana. Ed. Kluwer Academic Publishers, p. 377-426.

Donigian, A.S. Jr. 2002. Watershed Model Calibration and Validation: The HSPF Experience. WEF National TMDL Science and Policy 2002, November 13-16, 2002. Phoenix, AZ.

Edwards, D.R., Larson B.T., Lim T.T., 2000. 'Runoff Nutrient and Fecal Coliform Content from Cattle Manure Application to Fescue Plots". Journal of the American Water Resources Association, Vol. 36, No 4.

Geldreich, E.E., Bordner, R.H., Huff, C.B., Clark, H.F., and Kabler, P.W., 1962, Type distribution of coliform bacteria in the feces of warm-blooded animals: Journal of Water Pollution Control Federation, v. 34, no. 3, p. 295-301.

Gameson, A. L. H. y Gould, D. J., 1974. "Effects of Solar Radiation on the Mortality of Some Terrestial Bacteria in Sea Water". Proc. Int. Symp. on Discharge of Sewage from Sea Outfalls, London, Pergamon, Great Britain, Paper No. 22.

Gomringer R., 2005. Aportación de Nitrógeno, Fósforo y Sedimentos Suspendidos Durante Eventos de Tormenta en Micro Cuencas del Río Grande de Añasco. Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüez. Departamento de Agronomía, Puerto Rico.

Hernández-Pérez, D., 2006. "Qualitative Identification of Fecal Coliform Bacterial Sources". Proyecto de maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.

Hyer, K.E., y Moyer, D.L. 2003. Patterns and sources of fecal coliform bacteria in three streams in Virginia, 1999-2000: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03-4115, 76p.

Im, S., Brannan, K.M., Mostaghimi, S., Cho, J., 2005. “Simulating Fecal Coliform Bacteria Loading from an Urbanizing Watershed”. Journal of Environmental Science and Health, Part A, Volume 39, Issue 3.

Jenson, S. K. y Domingue, J. O. 1988. “Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing”. Vol. 54, No. 11, November 1988, pp. 1593–1600.

Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, 2003. Reglamento de estándares de calidad de agua de Puerto Rico.

Kinerson R., Cocca P., Partington E., Marjorie Wellman and David Wells of EPA's Office of Science and Technology, Standards and Applied Science Division. Four groups outside of EPA made significant contributions to the BASINS 3.0 system.

Lahlou, M., L. Shoemaker, S. Choudhury, R. Elmer, A. Hu, H. Manguerra, H. and A. Parker. 1998.Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources: BASINS Version 2.0 User’s Manual, EPA-823-B-98-006.

Laurent F., W. Anker, and D. Graillot, “Spatial Modeling with Geographic Information System for Determination of Water Resources Vulnerability Application to an Area in Massif Central (France). Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. 34(1):123-134, 1998.

Mara, D., y Oragui, J., 1981. “Occurrence of Rodococcus coprophilus and associated actinomycetes in feces, sewage, and freshwater”: Applied and Environmental Microbiology, v. 42, no. 6, p. 1,037-1,042.

National Climatic Data Center. Hourly precipitation. http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/stationlocator.html

Natural Resources Conservation Service. Soil type information. <http://www.nrcs.usda.gov/>

Paul S., Haan P., Matlock M., Mukhtar S. y Pillai S., 2004. “Analysis of the HSPF Water Quality Parameter Uncertainty in Predicting Peak In-Stream Fecal Coliform Concentrations”. *Transactions of the ASAE*, Vol. 47, No. 1.

Prieto M. G., 2007. Development of a Regional Integrated Hydrologic Model for a Tropical Watershed. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.

PR Department of Natural and Environmental Resources, 1977. “Landuse digital information”.

PRWRERI, 2007. “TMDL Development at the Río Grande de Añasco watershed Problem Identification Phase Final Report”. 210 p. March, 2007. Submitted to PR Environmental Quality Board.

Rodríguez -Martínez, J., Santiago-Rivera, L., Guzmán-Ríos, S., Gómez-Gómez, F., Oliveras-Feliciano, M.L. 2004. Surface-Water, Water-Quality, and Ground-Water Assessment of the Municipio of Mayaguez, Puerto Rico, 1999-2002.

Shen J., Parker A. y Riverson J., 2005. “A new approach for a Windows-based watershed modeling system based on a database-supporting architecture Environmental Modelling & Software”, Volumen 20, Issue 9, Pag. 1127-1138.

Suárez-Narváez G., 2005. Coeficientes de Exportación de Sedimentos para la Cuenca del Río Grande de Arecibo. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.

The Department of Commerce, 2000. Census of population and housing, Puerto Rico: U.S. Department of Commerce, Bureau of Census, PHC80-V-53, p. 53-1 to 53-11.

The Georgia Department of Natural Resources Protection, 2000. “Total Maximum Daily Load Evaluation of Fecal Coliform for Oquina Creek”. Atlanta, Georgia. Environmental Protection Division.

U.S EPA, 2005. A Homeowner's Guide to Septic Systems. EPA-832-B-02-005.

U.S. EPA, 2000. “BASINS Technical Note 6: Estimating Hydrology and Hydraulics Parameters for HSPF”. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 34 p.

U.S. EPA, 2000a. “Bacterial Indicator Tool”. Guía del usuario. EPA-823-B-01-003.

U.S EPA, 2002. “Total Maximum Daily Load (TMDL) for Río Cibuco Watershed, Commonwealth of Puerto Rico”. Region 2, New York, NY.

U.S. EPA, 2004. “Consider the Source an Interactive Guide to Protecting America´s Drinking Water” Environmental Protection Agency Office of Water. EPA 816-C-04-003.

U.S. EPA, 2005 “Drinking Water Standards: Overview of the 1992 TMDL Regulations.” <http://www.epa.gov/owow/tmdl/overviewfs.html>.

USDA, 1979. “Soil Survey of Mayagüez Area of Western Puerto Rico”. U.S Department of Agriculture. 79 p.

USDA, 1986. “Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55.”. US Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service Report 210-VI-TR-55, Second Ed.

USGS, 2004. Water Resources Data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands Water Year 2002. Water-Data Report PR-02-1. 672 p.

Veve, T. y Taggart B., 1996. “Atlas of ground-water resources in Puerto Rico and U.S. Virgin Islands”. U.S. Geological Survey Water resources investigations report 94-4198, 151pp.

Villalta, C., 2004. Selección de Funciones de Transporte de Sedimentos para los Ríos de la Bahía De Mayagüez Usando SAM. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.

Weiskel, P.A., Howes, B.L., and Heufelder, G.R., 1996. “Coliform contamination of a coastal embayment: sources and transport pathways” Environmental Science & Technology, v. 30, p. 1872-1881.

Zeckoski R., Mostaghimi S., Brannan K., Benham B., Dillaha T., Heatwole C., Shah S., Wagner R., Wolfe M., Wynn J. y Yagow G., 2003. “A program for generating fecal coliform inputs to HSPF”. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Pág. 001-006.

APÉNDICES

Apéndice A. Rango de valores para parámetros hidrológicos en HSPF[1]

Tabla A.1.

Parámetro	Unidades	Descripción	Rango De Valores				Función de...
			Típico		Posibles		
			Min	Max	Min	Max	
LZSN	(pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	3.00	8.00	2.00	15.00	Suelo, Clima
INFILT	(pulg/hr)	Infiltración	0.01	0.25	0.001	0.5	Suelo y uso del terreno
LSUR	(pies)	Longitud del flujo en la superficie	200	500	100	700	Topografía
SLSUR	(pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	0.01	0.15	0.001	0.3	Topografía
KVARY	(1/pulg)	Secesión de agua subterránea	0.00	3.00	0.00	5.00	Variación de la recesión del flujo base
AGWRC	-	Base de recesión del agua subterránea	0.92	0.99	0.85	0.999	Recesión del flujo base
INFEXP	-	Exponente de la ecuación de infiltración	2.00	2.00	1.00	3.00	Variabilidad del suelo
INFILD	-	Relación entre max/med capacidad de infiltración	2.00	2.00	1.00	3.00	Variabilidad del suelo
DEEPFR	-	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	0.00	0.20	0.00	0.50	Geología y recarga del agua subterránea
BASETP	-	Fracción de ET del flujo base	0.00	0.05	0.00	0.20	Vegetación en el canal
AGWETP	-	Fracción de ET del agua subterránea	0.00	0.05	0.00	0.20	humedales
CEPSC	-	Capacidad de almacenamiento por intercepción	0.03	0.20	0.01	0.40	Densidad de la vegetación, usos de terreno
UZSN	(pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	0.10	1.00	0.05	2.00	Condiciones superficiales del suelo
NSUR	-	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	0.15	0.35	0.05	0.50	Condiciones superficiales del suelo
INTFW	-	Parámetro de entrada del interflujo	1.00	3.00	1.00	10.00	Suelos, topografía, uso del terreno
IRC	-	Recesión del interflujo	0.50	0.70	0.30	0.85	Suelos, topografía, uso del terreno
LZETP	-	Parámetro de ET para la zona baja	0.20	0.70	0.10	0.90	Densidad de la vegetación, profundidad radical
RETSC	(pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.03	0.10	0.01	0.30	Condiciones de la superficie

(-) adimensional

[1] Tabla tomada de Suárez-Narváez G. (2005)

Apéndice B. Parámetros hidrológicos calibrados para HSPF

Tabla B.1. Subcuenca USGS_3000.

Parámetro (Unidades)	Urbano	Agricultura	Bosques	Suelo descubierto	Arbustos
LZSN (pulg)	12	14	15	14	12
INFILT (Pulg/hr)	0.002	0.3	0.3	0.3	0.3
LSUR(pies)	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
KVARY (1/pulg)	0	0	0	0	0
AGWRC	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985
INFEXP	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
INFILD	1	1	1	1	1
DEEPFR	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
BASETP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
AGWETP	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CEPSC (pulg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
UZSN (pulg)	1.128	1.128	1.128	1.128	1.128
NSUR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INTFW	0.75	0.75	0.75	0.75	0.6
IRC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	5	5	-	-	-

Tabla B.2. Subcuenca USGS_4000.

Parámetro (Unidades)	Urbano	Agricultura	Bosques	Suelo descubierto	Arbustos
LZSN (pulg)	12	14	15	14	12
INFILT (Pulg/hr)	0.002	0.3	0.3	0.3	0.3
SUR (pies)	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
KVARY (1/pulg)	0	0	0	0	0
AGWRC	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985
INFEXP	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
INFILD	1	1	1	1	1
DEEPFR	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
BASETP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
AGWETP	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CEPSC (pulg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
UZSN (PULG)	1.128	1.128	1.128	1.128	1.128
NSUR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INTFW	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
IRC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	5	5	-	-	-

Tabla B3. Subcuenca USGS_6000.

Parámetro (Unidades)	Urbano	Agricultura	Bosques	Suelo descubierto	Arbustos
LZSN (pulg)	13	14	16	14	12
INFILT (Pulg/hr)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
LSUR (pies)	250	250	250	250	250
SLSUR (pies/pies)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
KVARY (1/pulg)	0	0	0	0	0
AGWRC	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
INFEXP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
INFILD	1	1	1	1	1
DEEPFR	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
BASETP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
AGWETP	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CEPSC (pulg)	0	0	0	0	0
UZSN (PULG)	1.128	1.128	1.128	1.128	1.128
NSUR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INTFW	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
IRC	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
LZETP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	1	1	-	-	-

Apéndice C. Parámetros para coliformes fecales calibrados para HSPF

Tabla C.1. Subcuenca USGS_3000.

Parámetro (Unidades)	Urbano	Agricultura	Bosques	Suelo descubierto	Arbustos	Segmento de río
SQOLIM-P UFC/ac	1.0E+11	1.0E+11	1.0E+11	1.0E+11	1.0E+11	-
THFST	-	-	-	-	-	1.6
WSQOP-P pulg/hr	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	-
FSTDEC /día	-	-	-	-	-	1.2
SQO-P UFC/ac	1.0E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	-
SQOS-I UFC/ac	1.0E+08	-	1.00E+08	-	-	-
SQOLIM-I UFC/ac	9.9E+09	-	9.90E+09	-	-	-
WSQOP-I pulg/hr	2.0E+01	-	2.00E+01	-	-	-

Tabla C.2. Subcuenca USGS_4000.

Parámetro (Unidades)	Urbano	Agricultura	Bosques	Suelo descubierto	Arbustos	Segmento de río
SQOLIM-P UFC/acre	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11	-
THFST	-	-	-	-	-	1.6
WSQOP-P pulg/hr	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	
FSTDEC	-	-	-	-	-	1.2
SQO-P UFC/acre	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	-
SQOS-I UFC/acre	1.00E+08	-	1.00E+08	-	-	-
SQOLIM-I UFC/acre	9.90E+09	-	9.90E+09	-	-	-
WSQOP-I pulg/hr	2.00E+01	-	2.00E+01	-	-	-

Tabla C.3. Subcuenca USGS_6000.

Parámetro (Unidades)	Urbano	Agricultura	Bosques	Suelo descubierto	Arbustos	Segmento de río
SQOLIM-P UFC/ac	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11	1.00E+11	-
THFST	-	-	-	-	-	1.6
WSQOP-P pulg/hr	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	
FSTDEC	-	-	-	-	-	1
SQO-P UFC/ac	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	
SQOS-I UFC/ac	1.00E+08	-	1.00E+08	-	-	-
SQOLIM-I UFC/ac	9.90E+09	-	9.90E+09	-	-	-
WSQOP-I pulg/hr	2.00E+01	-	2.00E+01	-	-	-

Apéndice D. Violaciones de CF para el modelo calibrado en HSPF.

Tabla D.1. Subcuenca USGS_3000.

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
1/1/1996	89.1		0	
1/2/1996	89.1		0	
1/3/1996	88.7		0	
1/4/1996	89.3		0	
1/5/1996	89.8	89.19928	0	0
1/6/1996	90.4	89.45807	0	0
1/7/1996	91	89.83638	0	0
1/8/1996	91.6	90.41628	0	0
1/9/1996	92.2	90.99604	0	0
1/10/1996	95.8	92.18077	0	0
1/11/1996	93.4	92.78463	0	0
1/12/1996	94	93.38848	0	0
1/13/1996	94.6	93.99234	0	0
1/14/1996	95.2	94.59619	0	0
1/15/1996	95.8	94.59619	0	0
1/16/1996	286	118.3253	0	0
1/17/1996	126	125.466	0	0
1/18/1996	117	130.9137	0	0
1/19/1996	97.9	131.648	0	0
1/20/1996	118	137.2516	0	0
1/21/1996	196	127.261	0	0
1/22/1996	196	139.0185	0	0
1/23/1996	101	134.9894	0	0
1/24/1996	101	135.8337	0	0
1/25/1996	101	131.6726	0	0
1/26/1996	102	115.5484	0	0
1/27/1996	482	138.3319	0	0
1/28/1996	346	176.9592	0	0
1/29/1996	329	224.1032	0	1
1/30/1996	299	278.4313	0	1
1/31/1996	105	280.0502	0	1
2/1/1996	105	206.4735	0	1
2/2/1996	106	162.971	0	0
2/3/1996	106	129.9368	0	0
2/4/1996	106	105.5989	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
2/5/1996	105	105.5989	0	0
2/6/1996	105	105.5989	0	0
2/7/1996	104	105.1973	0	0
2/8/1996	104	104.7973	0	0
2/9/1996	103	104.1973	0	0
2/10/1996	102	103.595	0	0
2/11/1996	102	102.9961	0	0
2/12/1996	185	115.5709	0	0
2/13/1996	100	114.6679	0	0
2/14/1996	99.9	113.9692	0	0
2/15/1996	99.4	113.3822	0	0
2/16/1996	98.8	112.6617	0	0
2/17/1996	98.3	99.27787	0	0
2/18/1996	97.7	98.81694	0	0
2/19/1996	97.3	98.29713	0	0
2/20/1996	96.6	97.737	0	0
2/21/1996	96	97.17663	0	0
2/22/1996	96.8	96.87824	0	0
2/23/1996	551	136.9234	0	0
2/24/1996	99.1	137.4263	0	0
2/25/1996	363	179.0835	0	0
2/26/1996	349	231.8283	0	1
2/27/1996	51.6	204.4191	0	1
2/28/1996	77	137.9079	0	0
2/29/1996	84.6	133.613	0	0
3/1/1996	87	100.4086	0	0
3/2/1996	91.7	76.85637	0	0
3/3/1996	88	85.51582	0	0
3/4/1996	87.8	87.79044	0	0
3/5/1996	87.5	88.38423	0	0
3/6/1996	87.2	88.42483	0	0
3/7/1996	86.8	87.45896	0	0
3/8/1996	86.4	87.13859	0	0
3/9/1996	85.9	86.75814	0	0
3/10/1996	85.5	86.35785	0	0

Tabla D.1. Subcuenca USGS_3000 (continuación)

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
3/11/1996	84.9	85.89741	0	0
3/12/1996	84.6	85.45751	0	0
3/13/1996	108	89.35775	0	0
3/14/1996	88.2	89.83122	0	0
3/15/1996	83.3	89.3641	0	0
3/16/1996	82.9	88.93904	0	0
3/17/1996	82.9	88.5787	0	0
3/18/1996	82.1	83.85195	0	0
3/19/1996	81.7	82.5779	0	0
3/20/1996	81.3	82.17751	0	0
3/21/1996	81	81.79732	0	0
3/22/1996	80.7	81.35849	0	0
3/23/1996	80.6	81.059	0	0
3/24/1996	80.5	80.81947	0	0
3/25/1996	80.7	80.69983	0	0
3/26/1996	81	80.69983	0	0
3/27/1996	81.8	80.91864	0	0
3/28/1996	83.2	81.43408	0	0
3/29/1996	86	82.51763	0	0
3/30/1996	80.7	82.51763	0	0
3/31/1996	81	82.51763	0	0
4/1/1996	81.8	82.51763	0	0
4/2/1996	83.2	82.51763	0	0
4/3/1996	80.5	81.43408	0	0
4/4/1996	82.5	81.79416	0	0
4/5/1996	80.5	81.69293	0	0
4/6/1996	82.5	81.83227	0	0
4/7/1996	69	78.82605	0	0
4/8/1996	69	76.43291	0	0
4/9/1996	44.7	67.61625	0	0
4/10/1996	55.5	62.76977	0	0
4/11/1996	61.9	59.26494	0	0
4/12/1996	66.1	58.75818	0	0
4/13/1996	68.7	58.707	0	0
4/14/1996	68.7	63.97639	0	0
4/15/1996	70.7	67.14984	0	0
4/16/1996	318	93.15202	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
4/17/1996	71.3	94.5736	0	0
4/18/1996	71.5	95.33223	0	0
4/19/1996	175	114.936	0	0
4/20/1996	164	136.0006	0	0
4/21/1996	388	141.5213	0	0
4/22/1996	388	198.5959	0	0
4/23/1996	53.4	187.3343	0	0
4/24/1996	375	218.1805	0	1
4/25/1996	313	248.2882	0	1
4/26/1996	69.6	176.0806	0	0
4/27/1996	70.3	125.1228	0	0
4/28/1996	70.7	132.3463	0	0
4/29/1996	71	94.87621	0	0
4/30/1996	71.2	70.55771	0	0
5/1/1996	71.3	70.89907	0	0
5/2/1996	71.4	71.11957	0	0
5/3/1996	71.5	71.27979	0	0
5/4/1996	71.6	71.39986	0	0
5/5/1996	71.7	71.49986	0	0
5/6/1996	71.9	71.61979	0	0
5/7/1996	72	71.73976	0	0
5/8/1996	72.1	71.85976	0	0
5/9/1996	72.2	71.97979	0	0
5/10/1996	72.4	72.11979	0	0
5/11/1996	98.2	76.7593	0	0
5/12/1996	72.4	76.8444	0	0
5/13/1996	79.7	78.40014	0	0
5/14/1996	72.7	78.50843	0	0
5/15/1996	72.9	78.61656	0	0
5/16/1996	73.2	74.13	0	0
5/17/1996	73.2	74.2931	0	0
5/18/1996	572	110.1884	0	0
5/19/1996	572	166.4594	0	0
5/20/1996	924	276.6287	0	1
5/21/1996	924	459.3349	0	1
5/22/1996	205	564.3883	0	1
5/23/1996	91.2	390.9289	0	1

Tabla D.1. Subcuenca USGS_3000 (continuación)

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
5/24/1996	60.6	249.5244	0	1
5/25/1996	106	161.8228	0	0
5/26/1996	68	96.03006	0	0
5/27/1996	92.7	81.93555	0	0
5/28/1996	260	101.0341	0	0
5/29/1996	70.5	104.1385	0	0
5/30/1996	70.7	96.03601	0	0
5/31/1996	70.9	96.84151	0	0
6/1/1996	71	91.81154	0	0
6/2/1996	74.2	71.4469	0	0
6/3/1996	71.2	71.58822	0	0
6/4/1996	71.2	71.68919	0	0
6/5/1996	71.3	71.7699	0	0
6/6/1996	90.2	75.28908	0	0
6/7/1996	143	85.84567	0	0
6/8/1996	71.3	85.86978	0	0
6/9/1996	71.4	85.91796	0	0
6/10/1996	71.4	85.94205	0	0
6/11/1996	71.5	82.03999	0	0
6/12/1996	208	88.42419	0	0
6/13/1996	71.4	88.44897	0	0
6/14/1996	75.4	89.41851	0	0
6/15/1996	391	125.6386	0	0
6/16/1996	70.1	125.1427	0	0
6/17/1996	70.1	100.6784	0	0
6/18/1996	59.3	97.00805	0	0
6/19/1996	65.9	94.43013	0	0
6/20/1996	68.5	66.65202	0	0
6/21/1996	609	102.7054	0	0
6/22/1996	49.9	95.95546	0	0
6/23/1996	63.7	97.33895	0	0
6/24/1996	67.8	97.89387	0	0
6/25/1996	69.3	98.12147	0	0
6/26/1996	70.1	63.67723	0	0
6/27/1996	120	75.89276	0	0
6/28/1996	107	84.18781	0	0
6/29/1996	70.9	84.94396	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
6/30/1996	71	85.35668	0	0
7/1/1996	71.1	85.59883	0	0
7/2/1996	71.2	77.113	0	0
7/3/1996	71.2	71.0799	0	0
7/4/1996	71.3	71.15993	0	0
7/5/1996	71.4	71.23993	0	0
7/6/1996	71.4	71.29994	0	0
7/7/1996	71.5	71.35993	0	0
7/8/1996	71.6	71.43993	0	0
7/9/1996	196	87.45292	0	0
7/10/1996	70.1	87.13212	0	0
7/11/1996	308	116.7209	0	0
7/12/1996	57.6	111.782	0	0
7/13/1996	66.2	110.0427	0	0
7/14/1996	172	107.2051	0	0
7/15/1996	69.8	107.1132	0	0
7/16/1996	226	100.6826	0	0
7/17/1996	217	131.2689	0	0
7/18/1996	70.7	133.0069	0	0
7/19/1996	362	154.3513	0	0
7/20/1996	153	180.5833	0	0
7/21/1996	67.4	141.7711	0	0
7/22/1996	69.2	112.8021	0	0
7/23/1996	70	112.5778	0	0
7/24/1996	70.4	81.13825	0	0
7/25/1996	70.6	69.51016	0	0
7/26/1996	70.8	70.19771	0	0
7/27/1996	105	76.30264	0	0
7/28/1996	70.9	76.49785	0	0
7/29/1996	71	76.6278	0	0
7/30/1996	130	86.57931	0	0
7/31/1996	84.4	89.67594	0	0
8/1/1996	71.1	82.94916	0	0
8/2/1996	258	107.4006	0	0
8/3/1996	281	141.4153	0	0
8/4/1996	313	168.584	0	0
8/5/1996	71	162.8545	0	0

Tabla D.1. Subcuenca USGS_3000 (continuación)

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
8/6/1996	73.1	163.7605	0	0
8/7/1996	875	209.0677	0	1
8/8/1996	44.8	144.8109	0	0
8/9/1996	60	104.0693	0	0
8/10/1996	66.3	102.6535	0	0
8/11/1996	68.6	101.3573	0	0
8/12/1996	70.3	61.21311	0	0
8/13/1996	72.8	67.45515	0	0
8/14/1996	72.4	70.03781	0	0
8/15/1996	70.8	70.96375	0	0
8/16/1996	70.9	71.43334	0	0
8/17/1996	72.1	71.79545	0	0
8/18/1996	71.1	71.45697	0	0
8/19/1996	71.2	71.21851	0	0
8/20/1996	76.3	72.29215	0	0
8/21/1996	71.2	72.35322	0	0
8/22/1996	71.3	72.19194	0	0
8/23/1996	71.3	72.23251	0	0
8/24/1996	74.9	72.96811	0	0
8/25/1996	78.2	73.32795	0	0
8/26/1996	75.6	74.21264	0	0
8/27/1996	71.4	74.23345	0	0
8/28/1996	71.5	74.27505	0	0
8/29/1996	71.5	73.58813	0	0
8/30/1996	71.4	72.26135	0	0
8/31/1996	71.6	71.47996	0	0
9/1/1996	71.7	71.53993	0	0
9/2/1996	71.6	71.55993	0	0
9/3/1996	71.7	71.59992	0	0
9/4/1996	71.7	71.65998	0	0
9/5/1996	71.8	71.69997	0	0
9/6/1996	81.3	73.5247	0	0
9/7/1996	884	121.5461	0	0
9/8/1996	51.6	113.8065	0	0
9/9/1996	73.9	114.4965	0	0
9/10/1996	258	147.8738	0	0
9/11/1996	633	222.9225	0	1

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
9/12/1996	3.41E+02	184.2259	0	0
9/13/1996	271	256.6933	0	1
9/14/1996	48.5	235.9576	0	1
9/15/1996	47.8	168.4208	0	0
9/16/1996	5.21E+01	102.2074	0	0
9/17/1996	98.6	79.75735	0	0
9/18/1996	56.4	58.26834	0	0
9/19/1996	165	74.43567	0	0
9/20/1996	109	87.77702	0	0
9/21/1996	101	100.2023	0	0
9/22/1996	67.2	92.806	0	0
9/23/1996	69.1	96.65311	0	0
9/24/1996	69.8	81.37484	0	0
9/25/1996	70.2	74.5199	0	0
9/26/1996	70.4	69.33021	0	0
9/27/1996	70.5	69.99814	0	0
9/28/1996	70.5	70.2795	0	0
9/29/1996	79.3	72.09618	0	0
9/30/1996	1.13E+02	79.2485	0	0
10/1/1996	56.9	75.94496	0	0
10/2/1996	146	87.84797	0	0
10/3/1996	68.2	87.26715	0	0
10/4/1996	69.7	85.04381	0	0
10/5/1996	70.9	77.52213	0	0
10/6/1996	71.9	81.23609	0	0
10/7/1996	72.7	70.6619	0	0
10/8/1996	7.16E+01	71.35281	0	0
10/9/1996	65.2	70.40671	0	0
10/10/1996	70.5	70.32708	0	0
10/11/1996	73.1	70.56028	0	0
10/12/1996	74.6	70.9253	0	0
10/13/1996	75.7	71.71958	0	0
10/14/1996	94.4	77.2294	0	0
10/15/1996	1.01E+02	83.01965	0	0
10/16/1996	72.7	82.9286	0	0
10/17/1996	108	89.29791	0	0
10/18/1996	77.6	89.74174	0	0

Tabla D.1. Subcuenca USGS_3000 (continuación)

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
10/19/1996	202	104.4889	0	0
10/20/1996	60.8	94.36587	0	0
10/21/1996	139	107.4264	0	0
10/22/1996	77.5	100.5279	0	0
10/23/1996	206	122.2047	0	0
10/24/1996	92.6	104.5538	0	0
10/25/1996	112	118.1415	0	0
10/26/1996	80.1	105.8098	0	0
10/27/1996	82.4	107.1152	0	0
10/28/1996	136	98.57925	0	0
10/29/1996	614	143.912	0	0
10/30/1996	662	205.317	0	1
10/31/1996	233	254.1966	0	1
11/1/1996	169	293.4686	0	1
11/2/1996	109	280.7625	0	1
11/3/1996	123	203.5572	0	1
11/4/1996	84.9	134.9884	0	0
11/5/1996	1620	198.9428	1	0
11/6/1996	70	166.7902	0	0
11/7/1996	83.8	158.2464	0	0
11/8/1996	88.2	148.063	0	0
11/9/1996	142	164.1054	0	0
11/10/1996	91.7	92.40462	0	0
11/11/1996	8.37E+01	95.76772	0	0
11/12/1996	195	113.3907	0	0
11/13/1996	75.7	109.9772	0	0
11/14/1996	8.51E+01	99.27296	0	0
11/15/1996	80.2	96.6478	0	0
11/16/1996	94.5	99.02235	0	0
11/17/1996	97.1	86.13312	0	0
11/18/1996	97.7	90.64209	0	0
11/19/1996	9.94E+01	93.49267	0	0
11/20/1996	117	100.8277	0	0
11/21/1996	101	102.1781	0	0
11/22/1996	269	125.275	0	0
11/23/1996	2.21E+02	147.4237	0	0
11/24/1996	92	145.1748	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_3000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
11/25/1996	172	156.8049	0	0
11/26/1996	101	156.8049	0	0
11/27/1996	103	129.4126	0	0
11/28/1996	104	111.3529	0	0
11/29/1996	104	114.1171	0	0
11/30/1996	104	103.1934	0	0
12/1/1996	105	103.9981	0	0
12/2/1996	105	104.3989	0	0
12/3/1996	106	104.7973	0	0
12/4/1996	105	104.9981	0	0
12/5/1996	105	105.1992	0	0
12/6/1996	104	104.9981	0	0
12/7/1996	104	104.7973	0	0
12/8/1996	103	104.1973	0	0
12/9/1996	103	103.7973	0	0
12/10/1996	102	103.1973	0	0
12/11/1996	133	108.4007	0	0
12/12/1996	147	116.1686	0	0
12/13/1996	235	137.0045	0	0
12/14/1996	101	136.4683	0	0
12/15/1996	99.8	135.8744	0	0
12/16/1996	107	130.0901	0	0
12/17/1996	98.1	119.9816	0	0
12/18/1996	97.5	100.6241	0	0
12/19/1996	96.9	99.79352	0	0
12/20/1996	96.3	99.08354	0	0
12/21/1996	95.7	96.89628	0	0
12/22/1996	95.1	96.29626	0	0
12/23/1996	94.5	95.69624	0	0
12/24/1996	93.9	95.09621	0	0
12/25/1996	93.4	94.51644	0	0
12/26/1996	92.9	93.95678	0	0
12/27/1996	92.5	93.43731	0	0
12/28/1996	91.7	92.87693	0	0
12/29/1996	91.2	92.33656	0	0
12/30/1996	90.8	91.81666	0	0
12/31/1996	90.8	91.81666	0	0

Tabla D.2. Subcuenca USGS_4000.

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
1/1/1996	88.8		0	
1/2/1996	88.8		0	
1/3/1996	88.3		0	
1/4/1996	88.9		0	
1/5/1996	89.4	88.83931	0	0
1/6/1996	90	89.07813	0	0
1/7/1996	90.6	89.43636	0	0
1/8/1996	91.2	90.01626	0	0
1/9/1996	91.7	90.57628	0	0
1/10/1996	92.7	91.2353	0	0
1/11/1996	92.9	91.81583	0	0
1/12/1996	93.5	92.39623	0	0
1/13/1996	94	92.95673	0	0
1/14/1996	94.6	93.53738	0	0
1/15/1996	95.2	94.03654	0	0
1/16/1996	149	103.3548	0	0
1/17/1996	264	127.2006	0	0
1/18/1996	104	129.7987	0	0
1/19/1996	117	135.4345	0	0
1/20/1996	1020	217.6316	1	1
1/21/1996	131	212.0991	0	1
1/22/1996	2.90E+02	216.1214	0	1
1/23/1996	2900	420.5045	1	1
1/24/1996	107	413.0572	0	1
1/25/1996	104	261.6356	0	1
1/26/1996	103	249.3504	0	1
1/27/1996	2.13E+02	234.4263	0	1
1/28/1996	405	158.1313	0	0
1/29/1996	369	202.5566	0	1
1/30/1996	206	232.2272	0	1
1/31/1996	148	249.6882	0	1
2/1/1996	105	216.7504	0	1
2/2/1996	105	165.4652	0	0
2/3/1996	106	128.9326	0	0
2/4/1996	105	112.6749	0	0
2/5/1996	105	105.1992	0	0
2/6/1996	104	104.9981	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
2/7/1996	104	104.7973	0	0
2/8/1996	512	143.5962	0	0
2/9/1996	100	142.2018	0	0
2/10/1996	101	141.1015	0	0
2/11/1996	100	139.999	0	0
2/12/1996	426	185.6095	0	0
2/13/1996	192	152.548	0	0
2/14/1996	59.8	137.6406	0	0
2/15/1996	82.3	132.1181	0	0
2/16/1996	90	129.3632	0	0
2/17/1996	93	95.41695	0	0
2/18/1996	94.2	82.75142	0	0
2/19/1996	94.3	90.64369	0	0
2/20/1996	526	131.3575	0	0
2/21/1996	74.8	126.5863	0	0
2/22/1996	207	148.5539	0	0
2/23/1996	172	167.5636	0	0
2/24/1996	2.40E+02	201.9009	0	1
2/25/1996	2.63E+02	175.785	0	0
2/26/1996	135	197.8191	0	0
2/27/1996	47.3	147.247	0	0
2/28/1996	63.8	120.7549	0	0
2/29/1996	73.2	95.26777	0	0
3/1/1996	79.4	74.96688	0	0
3/2/1996	83	68.01713	0	0
3/3/1996	84.9	76.45882	0	0
3/4/1996	85.7	81.10724	0	0
3/5/1996	86	83.76394	0	0
3/6/1996	85.6	85.03305	0	0
3/7/1996	85.5	85.53924	0	0
3/8/1996	85.1	85.5795	0	0
3/9/1996	84.6	85.35867	0	0
3/10/1996	84.1	84.97813	0	0
3/11/1996	83.5	84.55703	0	0
3/12/1996	82.8	84.01611	0	0
3/13/1996	81.5	83.29293	0	0
3/14/1996	82	82.77455	0	0

Tabla D.2. Subcuenca USGS_4000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
3/15/1996	81.4	82.23611	0	0
3/16/1996	80.8	81.69726	0	0
3/17/1996	1.20E+02	88.04947	0	0
3/18/1996	79.7	87.65706	0	0
3/19/1996	79.2	87.05008	0	0
3/20/1996	78.6	86.44279	0	0
3/21/1996	78	85.8352	0	0
3/22/1996	77.5	78.596	0	0
3/23/1996	76.9	78.03583	0	0
3/24/1996	76.3	77.4558	0	0
3/25/1996	75.8	76.89592	0	0
3/26/1996	75.2	76.33574	0	0
3/27/1996	74.7	75.77601	0	0
3/28/1996	74.1	75.21597	0	0
3/29/1996	73.5	74.65564	0	0
3/30/1996	73	74.09576	0	0
3/31/1996	73.8	73.8178	0	0
4/1/1996	114	80.33003	0	0
4/2/1996	154	92.98618	0	0
4/3/1996	69.9	92.05691	0	0
4/4/1996	69.8	91.2353	0	0
4/5/1996	8.89E+01	94.69608	0	0
4/6/1996	6.99E+02	136.0924	0	0
4/7/1996	38.2	102.9775	0	0
4/8/1996	1.22E+03	182.4396	1	0
4/9/1996	54.1	173.3754	0	0
4/10/1996	61.3	160.953	0	0
4/11/1996	65.2	100.1534	0	0
4/12/1996	67.5	112.2312	0	0
4/13/1996	68.8	63.14799	0	0
4/14/1996	4.47E+02	96.33444	0	0
4/15/1996	70	98.92569	0	0
4/16/1996	171	119.9662	0	0
4/17/1996	90.6	127.24	0	0
4/18/1996	70.4	127.8264	0	0
4/19/1996	90.1	92.7906	0	0
4/20/1996	157	109.0597	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
4/21/1996	1.02E+03	155.8781	1	0
4/22/1996	264	193.0546	0	0
4/23/1996	64.9	189.9392	0	0
4/24/1996	297	241.1132	0	1
4/25/1996	195	251.7955	0	1
4/26/1996	521	220.1382	0	1
4/27/1996	46.6	155.6152	0	0
4/28/1996	61.4	153.8993	0	0
4/29/1996	66.3	114.0218	0	0
4/30/1996	68.2	92.41405	0	0
5/1/1996	102	66.69457	0	0
5/2/1996	69.7	72.28694	0	0
5/3/1996	70	74.20715	0	0
5/4/1996	70.2	75.06033	0	0
5/5/1996	113	83.03655	0	0
5/6/1996	69.7	76.94773	0	0
5/7/1996	70.1	77.03585	0	0
5/8/1996	95.5	81.97359	0	0
5/9/1996	104	88.67745	0	0
5/10/1996	82.6	83.29012	0	0
5/11/1996	1070	143.8215	1	0
5/12/1996	161	169.8421	0	0
5/13/1996	86	166.3199	0	0
5/14/1996	62.8	150.359	0	0
5/15/1996	66.7	144.0651	0	0
5/16/1996	68.4	83.11764	0	0
5/17/1996	2.20E+02	88.47336	0	0
5/18/1996	1.62E+02	100.419	0	0
5/19/1996	851	169.1258	0	0
5/20/1996	189	208.2941	0	1
5/21/1996	2.15E+02	261.9474	0	1
5/22/1996	61.5	203.004	0	1
5/23/1996	52.3	161.9205	0	0
5/24/1996	53.3	93.03823	0	0
5/25/1996	68	75.8352	0	0
5/26/1996	63.9	59.48709	0	0
5/27/1996	79.2	62.57383	0	0

Tabla D.2. Subcuenca USGS_4000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
5/28/1996	6.84E+02	104.6475	0	0
5/29/1996	64.4	108.6828	0	0
5/30/1996	1210	193.293	1	0
5/31/1996	1260	350.9054	1	1
6/1/1996	118	380.0331	0	1
6/2/1996	81.8	248.5052	0	1
6/3/1996	50.9	237.0838	0	1
6/4/1996	183	162.4931	0	0
6/5/1996	51	85.56081	0	0
6/6/1996	66.5	76.28915	0	0
6/7/1996	169	88.20424	0	0
6/8/1996	1130	163.9689	1	0
6/9/1996	73.8	136.7359	0	0
6/10/1996	54.9	138.766	0	0
6/11/1996	971	237.2262	0	1
6/12/1996	67.2	197.2691	0	0
6/13/1996	55.4	107.9308	0	0
6/14/1996	63.1	104.602	0	0
6/15/1996	1820	210.688	1	1
6/16/1996	41	111.8801	0	0
6/17/1996	8.11E+02	184.1124	0	0
6/18/1996	2280	387.2292	1	1
6/19/1996	75.6	401.4824	0	1
6/20/1996	89	219.5484	0	1
6/21/1996	1.15E+02	270.0316	0	1
6/22/1996	38.4	146.7157	0	0
6/23/1996	52.8	69.09022	0	0
6/24/1996	59.9	65.94738	0	0
6/25/1996	64.4	61.81541	0	0
6/26/1996	67.1	55.46258	0	0
6/27/1996	77.5	63.82549	0	0
6/28/1996	77.4	68.89942	0	0
6/29/1996	151	82.89448	0	0
6/30/1996	68.3	83.87501	0	0
7/1/1996	69.3	84.41793	0	0
7/2/1996	69.9	82.6932	0	0
7/3/1996	70.2	81.09406	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
7/4/1996	70.4	69.61586	0	0
7/5/1996	70.5	70.05867	0	0
7/6/1996	70.5	70.29963	0	0
7/7/1996	70.6	70.43987	0	0
7/8/1996	79.1	72.14171	0	0
7/9/1996	100	77.38769	0	0
7/10/1996	6.86E+02	121.9829	0	0
7/11/1996	149	141.6767	0	0
7/12/1996	60.6	137.4143	0	0
7/13/1996	122	149.8541	0	0
7/14/1996	451	202.5368	0	1
7/15/1996	44.9	117.4055	0	0
7/16/1996	88.8	105.8604	0	0
7/17/1996	98.1	116.5663	0	0
7/18/1996	68.6	103.8881	0	0
7/19/1996	134	81.49884	0	0
7/20/1996	91.1	93.88708	0	0
7/21/1996	69.4	89.3707	0	0
7/22/1996	69.9	83.51352	0	0
7/23/1996	70.2	83.8995	0	0
7/24/1996	70.3	73.74448	0	0
7/25/1996	70.4	70.03907	0	0
7/26/1996	70.5	70.2597	0	0
7/27/1996	77.1	71.65091	0	0
7/28/1996	70.5	71.71205	0	0
7/29/1996	70.5	71.7528	0	0
7/30/1996	96.4	76.40816	0	0
7/31/1996	124	85.54335	0	0
8/1/1996	79	85.96087	0	0
8/2/1996	137	98.1764	0	0
8/3/1996	141	112.7751	0	0
8/4/1996	340	145.1087	0	0
8/5/1996	69.8	129.3541	0	0
8/6/1996	70.1	126.2986	0	0
8/7/1996	724	176.1984	0	0
8/8/1996	60.7	148.8661	0	0
8/9/1996	67.3	107.6721	0	0

Tabla D.2. Subcuenca USGS_4000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
8/10/1996	69.3	107.5174	0	0
8/11/1996	70.1	107.5174	0	0
8/12/1996	70	67.38304	0	0
8/13/1996	180	83.74664	0	0
8/14/1996	58.6	81.4599	0	0
8/15/1996	65.9	80.64442	0	0
8/16/1996	104	87.26446	0	0
8/17/1996	96.9	93.12848	0	0
8/18/1996	606	118.7196	0	0
8/19/1996	6.25E+02	190.5678	0	0
8/20/1996	6.51E+02	301.2464	0	1
8/21/1996	6.80E+02	438.5737	0	1
8/22/1996	37	361.758	0	1
8/23/1996	52	221.3728	0	1
8/24/1996	59.4	138.285	0	0
8/25/1996	76.8	90.1982	0	0
8/26/1996	126	64.37906	0	0
8/27/1996	53.4	69.28075	0	0
8/28/1996	64.4	72.30845	0	0
8/29/1996	67.7	74.22488	0	0
8/30/1996	68.7	72.58863	0	0
8/31/1996	69.5	64.44533	0	0
9/1/1996	70	68.03037	0	0
9/2/1996	70.2	69.21386	0	0
9/3/1996	70.3	69.7375	0	0
9/4/1996	70.4	70.07927	0	0
9/5/1996	70.5	70.27979	0	0
9/6/1996	1980	137.1336	1	0
9/7/1996	165	162.6946	0	0
9/8/1996	47.1	150.1711	0	0
9/9/1996	60.3	145.5913	0	0
9/10/1996	104	157.3635	0	0
9/11/1996	706	128.036	0	0
9/12/1996	7.30E+02	172.371	0	0
9/13/1996	108	203.4908	0	1
9/14/1996	47.4	193.9264	0	0
9/15/1996	51.2	168.3	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
9/16/1996	1.86E+03	204.28	1	1
9/17/1996	715	203.4502	0	1
9/18/1996	44.4	170.3139	0	0
9/19/1996	940	309.5423	0	1
9/20/1996	59	318.4464	0	1
9/21/1996	67.1	163.862	0	0
9/22/1996	63.5	100.9652	0	0
9/23/1996	66.7	109.5268	0	0
9/24/1996	68.4	64.84941	0	0
9/25/1996	69.4	66.98962	0	0
9/26/1996	69.6	67.48152	0	0
9/27/1996	70.2	68.84899	0	0
9/28/1996	70.2	69.55683	0	0
9/29/1996	1.36E+03	126.3948	1	0
9/30/1996	1.39E+03	230.2936	1	1
10/1/1996	2570	473.9654	1	1
10/2/1996	76.7	482.4344	0	1
10/3/1996	84	500.0653	0	1
10/4/1996	47.8	256.1602	0	1
10/5/1996	59.1	136.1459	0	0
10/6/1996	82.4	68.42321	0	0
10/7/1996	68.8	66.95177	0	0
10/8/1996	1.05E+02	70.03407	0	0
10/9/1996	70.3	75.65103	0	0
10/10/1996	72.8	78.87214	0	0
10/11/1996	74.2	77.23585	0	0
10/12/1996	75.1	78.60121	0	0
10/13/1996	75.9	73.63333	0	0
10/14/1996	86.6	76.76919	0	0
10/15/1996	8.47E+02	125.3997	0	0
10/16/1996	49.6	115.6943	0	0
10/17/1996	1520	211.1313	1	1
10/18/1996	51.7	195.525	0	0
10/19/1996	3510	409.9777	1	1
10/20/1996	42.6	225.4792	0	1
10/21/1996	146	279.8213	0	1
10/22/1996	61.2	147.1846	0	0

Tabla D.2. Subcuenca USGS_4000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
10/23/1996	1.25E+02	175.5244	0	0
10/24/1996	93.2	84.94919	0	0
10/25/1996	127	105.691	0	0
10/26/1996	57.1	87.59811	0	0
10/27/1996	72.8	90.69236	0	0
10/28/1996	108	88.12156	0	0
10/29/1996	371	116.1646	0	0
10/30/1996	464	150.5278	0	0
10/31/1996	176	188.535	0	0
11/1/1996	2.19E+02	235.0571	0	1
11/2/1996	61.9	210.2939	0	1
11/3/1996	86.6	157.2011	0	0
11/4/1996	82.7	111.3405	0	0
11/5/1996	597	142.1495	0	0
11/6/1996	67.9	112.4376	0	0
11/7/1996	127	129.8178	0	0
11/8/1996	84.2	129.0901	0	0
11/9/1996	1310	224.3088	1	1
11/10/1996	97	155.9573	0	0
11/11/1996	1.39E+02	179.9196	0	0
11/12/1996	167	190.047	0	0
11/13/1996	83.5	189.7299	0	0
11/14/1996	2.15E+03	209.4929	1	1
11/15/1996	76.7	199.8821	0	0
11/16/1996	94.1	184.9461	0	0
11/17/1996	1080	268.6499	1	1
11/18/1996	109	283.3575	0	1
11/19/1996	1.19E+03	251.7424	1	1
11/20/1996	90.9	260.4415	0	1
11/21/1996	107	267.22	0	1
11/22/1996	191	188.9691	0	0
11/23/1996	1.78E+03	330.3616	1	1
11/24/1996	93.6	198.6714	0	0
11/25/1996	148	219.0155	0	1
11/26/1996	95.4	214.0464	0	1

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_4000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
11/27/1996	100	188.0621	0	0
11/28/1996	102	106.1542	0	0
11/29/1996	103	108.2055	0	0
11/30/1996	104	100.8333	0	0
12/1/1996	104	102.589	0	0
12/2/1996	105	103.595	0	0
12/3/1996	106	104.395	0	0
12/4/1996	105	104.7973	0	0
12/5/1996	105	104.9981	0	0
12/6/1996	104	104.9981	0	0
12/7/1996	104	104.7973	0	0
12/8/1996	103	104.1973	0	0
12/9/1996	102	103.595	0	0
12/10/1996	102	102.9961	0	0
12/11/1996	112	104.5341	0	0
12/12/1996	129	109.1363	0	0
12/13/1996	229	128.0468	0	0
12/14/1996	99.9	127.5151	0	0
12/15/1996	99.2	126.8072	0	0
12/16/1996	101	124.2123	0	0
12/17/1996	98	117.5688	0	0
12/18/1996	97.4	99.09157	0	0
12/19/1996	96.8	98.46881	0	0
12/20/1996	96.2	97.86589	0	0
12/21/1996	95.6	96.79628	0	0
12/22/1996	95.1	96.2165	0	0
12/23/1996	94.5	95.6366	0	0
12/24/1996	93.9	95.05658	0	0
12/25/1996	93.4	94.49668	0	0
12/26/1996	92.6	93.89601	0	0
12/27/1996	119	98.20203	0	0
12/28/1996	94.4	98.18123	0	0
12/29/1996	92.5	97.88671	0	0
12/30/1996	98.3	98.89288	0	0
12/31/1996	92	98.76439	0	0

Tabla D.3. Subcuenca USGS_6000.

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
1/1/1996	128		0	
1/2/1996	128		0	
1/3/1996	129		0	
1/4/1996	128		0	
1/5/1996	127	127.9984	0	0
1/6/1996	127	127.7978	0	0
1/7/1996	126	127.3959	0	0
1/8/1996	125	126.5959	0	0
1/9/1996	125	125.9968	0	0
1/10/1996	124	125.3959	0	0
1/11/1996	123	124.5958	0	0
1/12/1996	122	123.7945	0	0
1/13/1996	192	134.8899	0	0
1/14/1996	103	129.7672	0	0
1/15/1996	114	127.6032	0	0
1/16/1996	94.3	120.9993	0	0
1/17/1996	199	133.4386	0	0
1/18/1996	108	118.934	0	0
1/19/1996	125	123.6291	0	0
1/20/1996	1010	191.2511	1	0
1/21/1996	124	202.0161	0	1
1/22/1996	2.44E+02	210.4231	0	1
1/23/1996	1510	356.6186	1	1
1/24/1996	111	348.2463	0	1
1/25/1996	109	223.1041	0	1
1/26/1996	107	216.6207	0	1
1/27/1996	1.97E+02	207.5464	0	1
1/28/1996	354	155.2818	0	0
1/29/1996	317	191.5437	0	0
1/30/1996	186	213.1499	0	1
1/31/1996	137	223.9507	0	1
2/1/1996	101	195.9402	0	0
2/2/1996	101	152.4709	0	0
2/3/1996	100	121.0529	0	0
2/4/1996	99.7	106.8591	0	0
2/5/1996	99	100.137	0	0
2/6/1996	98.3	99.59581	0	0
2/7/1996	97.6	98.91604	0	0
2/8/1996	548	139.0026	0	0
2/9/1996	273	170.0264	0	0
2/10/1996	64.8	156.2084	0	0
2/11/1996	86.1	152.1228	0	0
2/12/1996	480	209.1956	0	1
2/13/1996	232	176.1546	0	0
2/14/1996	50	125.4456	0	0
2/15/1996	74.8	129.0984	0	0
2/16/1996	83.2	128.2168	0	0
2/17/1996	86.2	90.94902	0	0
2/18/1996	87.2	74.78315	0	0
2/19/1996	87.3	83.60121	0	0
2/20/1996	834	135.4146	0	0
2/21/1996	54.5	124.4286	0	0
2/22/1996	109	130.4079	0	0
2/23/1996	198	153.6504	0	0
2/24/1996	8.83E+02	244.0748	0	1
2/25/1996	1.41E+03	271.1025	1	1
2/26/1996	237	363.7508	0	1
2/27/1996	42.8	301.7223	0	1
2/28/1996	60.2	237.7901	0	1
2/29/1996	68.9	142.7728	0	0
3/1/1996	74.1	79.2073	0	0
3/2/1996	76.8	63.22485	0	0
3/3/1996	78.1	71.30652	0	0
3/4/1996	78.8	75.2515	0	0
3/5/1996	78.9	77.31909	0	0
3/6/1996	78.5	78.21626	0	0
3/7/1996	78.4	78.53948	0	0
3/8/1996	78	78.51935	0	0
3/9/1996	77.5	78.25855	0	0
3/10/1996	77	77.87796	0	0
3/11/1996	76.5	77.47702	0	0
3/12/1996	75.8	76.95619	0	0
3/13/1996	74.7	76.29371	0	0
3/14/1996	75	75.79502	0	0

Tabla D.3. Subcuenca USGS_6000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
3/15/1996	74.5	75.29632	0	0
3/16/1996	214	92.49627	0	0
3/17/1996	4.50E+01	83.33604	0	0
3/18/1996	62.4	80.39068	0	0
3/19/1996	69	79.06117	0	0
3/20/1996	70.3	78.14893	0	0
3/21/1996	70.4	62.56837	0	0
3/22/1996	70.2	68.38798	0	0
3/23/1996	69.9	69.95814	0	0
3/24/1996	69.4	70.03907	0	0
3/25/1996	68.9	69.75786	0	0
3/26/1996	68.4	69.35692	0	0
3/27/1996	67.9	68.89637	0	0
3/28/1996	67.4	68.39634	0	0
3/29/1996	66.9	67.89632	0	0
3/30/1996	66.4	67.39629	0	0
3/31/1996	66.9	67.09807	0	0
4/1/1996	102	72.78738	0	0
4/2/1996	136	83.75908	0	0
4/3/1996	65.7	83.45642	0	0
4/4/1996	64.3	82.92172	0	0
4/5/1996	1.40E+04	241.4397	1	1
4/6/1996	8.47E+02	368.6934	0	1
4/7/1996	38.3	286.1523	0	1
4/8/1996	1.36E+03	524.5562	1	1
4/9/1996	52.8	504.2857	0	1
4/10/1996	58.8	168.7821	0	0
4/11/1996	61.9	100.0202	0	0
4/12/1996	63.5	110.6631	0	0
4/13/1996	64.4	60.12738	0	0
4/14/1996	3.99E+02	90.10317	0	0
4/15/1996	65.6	92.09698	0	0
4/16/1996	156	110.7981	0	0
4/17/1996	84.2	117.2303	0	0
4/18/1996	66	117.8071	0	0
4/19/1996	83.4	86.14104	0	0
4/20/1996	140	100.2432	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
4/21/1996	1.07E+03	147.3353	1	0
4/22/1996	246	182.5708	0	0
4/23/1996	62	180.3022	0	0
4/24/1996	265	227.2045	0	1
4/25/1996	180	238.9163	0	1
4/26/1996	422	198.3497	0	0
4/27/1996	38.6	136.95	0	0
4/28/1996	55.9	134.1424	0	0
4/29/1996	61.7	100.2245	0	0
4/30/1996	63.9	81.47409	0	0
5/1/1996	93.8	60.31115	0	0
5/2/1996	65.6	67.05959	0	0
5/3/1996	65.9	69.30357	0	0
5/4/1996	66.1	70.26497	0	0
5/5/1996	106	77.74991	0	0
5/6/1996	65.8	72.42767	0	0
5/7/1996	66.1	72.53774	0	0
5/8/1996	700	116.3608	0	0
5/9/1996	48.3	109.2838	0	0
5/10/1996	67.6	99.88122	0	0
5/11/1996	1140	176.6931	1	0
5/12/1996	148	207.6021	0	1
5/13/1996	80.8	134.8014	0	0
5/14/1996	487	213.9985	0	1
5/15/1996	28.9	180.5514	0	0
5/16/1996	45	94.59376	0	0
5/17/1996	1.87E+02	99.12392	0	0
5/18/1996	1.44E+02	111.2676	0	0
5/19/1996	991	128.256	0	0
5/20/1996	177	184.2862	0	0
5/21/1996	3.27E+03	434.2699	1	1
5/22/1996	60.6	346.6458	0	1
5/23/1996	51.8	282.5397	0	1
5/24/1996	52.4	156.939	0	0
5/25/1996	65.5	128.6425	0	0
5/26/1996	61.5	58.10989	0	0
5/27/1996	74.7	60.5926	0	0

Tabla D.3. Subcuenca USGS_6000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
5/28/1996	2.15E+03	127.656	1	0
5/29/1996	62.4	132.1941	0	0
5/30/1996	1300	240.2993	1	1
5/31/1996	793	400.7117	0	1
6/1/1996	244	507.7453	0	1
6/2/1996	67	253.7308	0	1
6/3/1996	47	239.7484	0	1
6/4/1996	137	152.8661	0	0
6/5/1996	43.6	85.57638	0	0
6/6/1996	61.2	64.89724	0	0
6/7/1996	109	71.53137	0	0
6/8/1996	846	127.512	0	0
6/9/1996	60.4	108.2466	0	0
6/10/1996	363	165.3859	0	0
6/11/1996	1090	294.1937	1	1
6/12/1996	62.8	263.4754	0	1
6/13/1996	53.1	151.4554	0	0
6/14/1996	60.1	151.3047	0	0
6/15/1996	1240	193.444	1	0
6/16/1996	35.1	97.30418	0	0
6/17/1996	9.09E+02	166.0551	0	0
6/18/1996	1140	306.6298	1	1
6/19/1996	54.3	300.4689	0	1
6/20/1996	155	198.2355	0	0
6/21/1996	2.68E+03	471.7881	1	1
6/22/1996	37.8	249.7656	0	1
6/23/1996	51.4	134.383	0	0
6/24/1996	57.9	136.1194	0	0
6/25/1996	61.7	113.2168	0	0
6/26/1996	64	53.64382	0	0
6/27/1996	73.5	61.27437	0	0
6/28/1996	73.2	65.76403	0	0
6/29/1996	142	78.68834	0	0
6/30/1996	64.4	79.36527	0	0
7/1/1996	261	105.129	0	0
7/2/1996	50.8	97.64228	0	0
7/3/1996	63	94.75536	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
7/4/1996	65.3	81.12015	0	0
7/5/1996	66	81.51929	0	0
7/6/1996	66.3	61.97763	0	0
7/7/1996	66.4	65.38767	0	0
7/8/1996	74.3	67.58114	0	0
7/9/1996	94.1	72.70442	0	0
7/10/1996	8.18E+02	120.2826	0	0
7/11/1996	96	129.5252	0	0
7/12/1996	55.1	124.7817	0	0
7/13/1996	114	135.9359	0	0
7/14/1996	435	184.635	0	0
7/15/1996	38.5	100.1972	0	0
7/16/1996	81.2	96.89748	0	0
7/17/1996	90.5	107.0069	0	0
7/18/1996	64.8	95.57536	0	0
7/19/1996	123	74.23848	0	0
7/20/1996	85.5	87.08236	0	0
7/21/1996	65.9	83.52107	0	0
7/22/1996	66.3	78.48181	0	0
7/23/1996	66.5	78.88935	0	0
7/24/1996	66.6	69.7802	0	0
7/25/1996	66.7	66.3994	0	0
7/26/1996	66.7	66.55983	0	0
7/27/1996	72.6	67.77926	0	0
7/28/1996	66.7	67.81998	0	0
7/29/1996	66.7	67.84034	0	0
7/30/1996	208	85.16781	0	0
7/31/1996	115	94.97076	0	0
8/1/1996	74.6	95.48834	0	0
8/2/1996	127	108.614	0	0
8/3/1996	130	124.1222	0	0
8/4/1996	771	161.3049	0	0
8/5/1996	58.2	140.7643	0	0
8/6/1996	61.8	135.5634	0	0
8/7/1996	732	192.435	0	0
8/8/1996	58.1	163.8063	0	0
8/9/1996	63.8	99.51393	0	0

Tabla D.3. Subcuenca USGS_6000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
8/10/1996	58.2	99.51393	0	0
8/11/1996	52.6	96.35701	0	0
8/12/1996	61.9	58.79214	0	0
8/13/1996	75	61.8723	0	0
8/14/1996	30.7	53.45149	0	0
8/15/1996	51	52.05821	0	0
8/16/1996	378	77.23079	0	0
8/17/1996	84.1	82.11292	0	0
8/18/1996	576	123.4479	0	0
8/19/1996	5.91E+02	223.0391	0	1
8/20/1996	6.15E+02	366.9498	0	1
8/21/1996	6.41E+02	407.8561	0	1
8/22/1996	30.1	332.094	0	1
8/23/1996	47.4	201.5265	0	1
8/24/1996	52.9	124.3651	0	0
8/25/1996	70.5	80.64856	0	0
8/26/1996	98.2	55.41409	0	0
8/27/1996	46.9	60.55381	0	0
8/28/1996	59.4	63.34949	0	0
8/29/1996	63.2	65.64405	0	0
8/30/1996	64.3	64.44656	0	0
8/31/1996	65.2	59.37819	0	0
9/1/1996	65.7	63.51927	0	0
9/2/1996	65.9	64.85229	0	0
9/3/1996	66	65.41701	0	0
9/4/1996	66.1	65.77923	0	0
9/5/1996	66.1	65.95983	0	0
9/6/1996	1150	116.9246	1	0
9/7/1996	241	151.5418	0	0
9/8/1996	42.2	138.5754	0	0
9/9/1996	55.7	133.9112	0	0
9/10/1996	95.1	144.0166	0	0
9/11/1996	638	128.008	0	0
9/12/1996	6.89E+02	157.9118	0	0
9/13/1996	101	188.0253	0	0
9/14/1996	46.9	181.6686	0	0
9/15/1996	50	159.7489	0	0

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
9/16/1996	2.01E+03	200.9615	1	1
9/17/1996	725	203.0484	0	1
9/18/1996	233	239.9974	0	1
9/19/1996	1100	451.0768	1	1
9/20/1996	329	657.4999	0	1
9/21/1996	56.4	321.7454	0	1
9/22/1996	59.2	194.9436	0	0
9/23/1996	62.9	150.0265	0	0
9/24/1996	64.7	85.12759	0	0
9/25/1996	65.6	61.66119	0	0
9/26/1996	481	94.66406	0	0
9/27/1996	45.4	89.77015	0	0
9/28/1996	49.4	85.53566	0	0
9/29/1996	2.44E+03	176.7846	1	0
9/30/1996	5.80E+03	433.2605	1	1
10/1/1996	2100	581.787	1	1
10/2/1996	74.3	642.023	0	1
10/3/1996	83.8	713.5986	0	1
10/4/1996	47	323.8886	0	1
10/5/1996	358	185.561	0	0
10/6/1996	67.3	93.24934	0	0
10/7/1996	63.5	90.36552	0	0
10/8/1996	1.00E+03	148.3727	0	0
10/9/1996	64.5	158.0689	0	0
10/10/1996	67.6	113.2554	0	0
10/11/1996	69.4	113.9536	0	0
10/12/1996	70.5	116.362	0	0
10/13/1996	71.2	68.5973	0	0
10/14/1996	77.6	71.18154	0	0
10/15/1996	1.18E+03	126.1114	1	0
10/16/1996	32.5	108.3576	0	0
10/17/1996	1130	188.7283	1	0
10/18/1996	42.7	170.3832	0	0
10/19/1996	2010	326.6582	1	1
10/20/1996	37.4	163.7915	0	0
10/21/1996	134	217.4382	0	1
10/22/1996	58.5	120.2683	0	0

Tabla D.3. Subcuenca USGS_6000 (continuación).

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
10/23/1996	2.08E+03	261.6245	1	1
10/24/1996	80.7	137.5352	0	0
10/25/1996	118	173.0677	0	0
10/26/1996	55.1	144.8856	0	0
10/27/1996	69.1	149.7924	0	0
10/28/1996	100	81.63512	0	0
10/29/1996	352	109.6001	0	0
10/30/1996	456	143.6241	0	0
10/31/1996	165	178.852	0	0
11/1/1996	4.77E+03	417.1593	1	1
11/2/1996	60.2	376.8958	0	1
11/3/1996	82.4	281.902	0	1
11/4/1996	78.8	198.4314	0	0
11/5/1996	578	254.976	0	1
11/6/1996	66.8	108.5803	0	0
11/7/1996	123	125.26	0	0
11/8/1996	82.5	125.2904	0	0
11/9/1996	1580	228.2149	1	1
11/10/1996	96	159.3723	0	0
11/11/1996	6.63E+02	252.2088	0	1
11/12/1996	293	300.0217	0	1
11/13/1996	83.7	300.8895	0	1
11/14/1996	2.19E+03	321.1918	1	1
11/15/1996	77.3	307.5715	0	1
11/16/1996	94.6	208.3635	0	1
11/17/1996	445	226.527	0	1
11/18/1996	86.5	228.0227	0	1
11/19/1996	1.26E+03	204.1566	1	1
11/20/1996	83.1	207.1323	0	1
11/21/1996	98.9	208.982	0	1
11/22/1996	167	171.783	0	0
11/23/1996	2.01E+03	322.2672	1	1
11/24/1996	95	192.1705	0	0
11/25/1996	146	215.0983	0	1
11/26/1996	99.8	215.4884	0	1

Escenario	CANASCO			
Ubicación	USGS_6000		Violación	
Constituyente	DQAL1		1000 UFC	200 UFC
11/27/1996	105	196.3896	0	0
11/28/1996	108	109.437	0	0
11/29/1996	109	112.4876	0	0
11/30/1996	110	106.2949	0	0
12/1/1996	112	108.7752	0	0
12/2/1996	112	110.1884	0	0
12/3/1996	114	111.3864	0	0
12/4/1996	114	112.39	0	0
12/5/1996	114	113.1957	0	0
12/6/1996	114	113.5972	0	0
12/7/1996	114	114	0	0
12/8/1996	114	114	0	0
12/9/1996	114	114	0	0
12/10/1996	114	114	0	0
12/11/1996	123	115.7457	0	0
12/12/1996	138	120.2541	0	0
12/13/1996	231	138.4973	0	0
12/14/1996	113	138.2534	0	0
12/15/1996	112	137.7649	0	0
12/16/1996	115	135.9243	0	0
12/17/1996	112	130.3662	0	0
12/18/1996	112	112.794	0	0
12/19/1996	112	112.5937	0	0
12/20/1996	112	112.5937	0	0
12/21/1996	112	112	0	0
12/22/1996	112	112	0	0
12/23/1996	112	112	0	0
12/24/1996	112	112	0	0
12/25/1996	112	112	0	0
12/26/1996	112	112	0	0
12/27/1996	136	116.4346	0	0
12/28/1996	114	116.8475	0	0
12/29/1996	113	117.0555	0	0
12/30/1996	119	118.4834	0	0
12/31/1996	113	118.6942	0	0

Apéndice E. Archivo UCI de HSPF

```
RUN

GLOBAL
  UCI Created by WinHSPF for Canasco
  START       1995/01/01 01:00  END    1997/12/31 01:00
  RUN INTERP OUTPT LEVELS    1    0
  RESUME     0 RUN     1                          UNITS    1
END GLOBAL

FILES
<FILE>  <UN#>***<----FILE NAME----------------------------------------
-------->
MESSU      24   Canasco.ech
           91   Canasco.out
WDM1       25   Anasco_out.wdm
WDM2       26   anasco_in.wdm
BINO       92   Canasco.hbn
END FILES

OPN SEQUENCE
    INGRP              INDELT 01:00
      PERLND     101
      PERLND     102
      PERLND     103
      PERLND     104
      PERLND     105
      PERLND     106
      IMPLND     101
      IMPLND     102
      PERLND     201
```

```
      PERLND     202
      PERLND     203
      PERLND     204
      PERLND     205
      PERLND     206
      PERLND     207
      IMPLND     201
      IMPLND     202
      PERLND     301
      PERLND     302
      PERLND     303
      PERLND     304
      PERLND     305
      PERLND     306
      PERLND     307
      IMPLND     301
      IMPLND     302
      BMPRAC       2
      BMPRAC       1
      RCHRES       1
      BMPRAC       3
      BMPRAC       4
      RCHRES       2
      BMPRAC       5
      BMPRAC       6
      RCHRES       3
      COPY         1
    END INGRP
END OPN SEQUENCE

PERLND
  ACTIVITY
```

```
***   <PLS   >                                        Active   Sections
***
*** x -  x ATMP SNOW PWAT  SED  PST  PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC
***
  101  307    0    0    1    0    0    0    1    0    0    0    0    0
  END ACTIVITY

  PRINT-INFO
***  <  PLS>                                                Print-flags
PIVL  PYR
*** x  - x ATMP SNOW PWAT  SED  PST  PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC
  101  307    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4
1    9
  END PRINT-INFO

  BINARY-INFO
***   <  PLS>                                     Binary   Output   Flags
PIVL  PYR
*** x  - x ATMP SNOW PWAT  SED  PST  PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC
  101  307    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4
1    9
  END BINARY-INFO

  GEN-INFO
***             Name                  Unit-systems   Printer BinaryOut
*** <PLS >                                t-series Engl Metr Engl Metr
*** x -  x                                 in  out
  101     Urban or Built-Up                 1    1    0    0   92    0
  102     Barren Land                       1    1    0    0   92    0
  103     Range Land                        1    1    0    0   92    0
  104     Forest Land                       1    1    0    0   92    0
  105     Agricultural Land                 1    1    0    0   92    0
```

```
  106     Water                              1    1    0    0   92    0
  201     Urban or Built-Up                  1    1    0    0   92    0
  202     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  203     Range Land                         1    1    0    0   92    0
  204     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  205     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  206     Water                              1    1    0    0   92    0
  207     Wetland                            1    1    0    0   92    0
  301     Urban or Built-Up                  1    1    0    0   92    0
  302     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  303     Range Land                         1    1    0    0   92    0
  304     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  305     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  306     Water                              1    1    0    0   92    0
  307     Wetland                            1    1    0    0   92    0
  END GEN-INFO

  PWAT-PARM1
*** <PLS >                    Flags
*** x -  x CSNO RTOP UZFG  VCS  VUZ  VNN VIFW VIRC  VLE IFFC  HWT IRRG
IFRD
  101  307    0    1    1    1    0    0    0    0    1    1    0    0
0
  END PWAT-PARM1

  PWAT-PARM2
*** < PLS>    FOREST      LZSN    INFILT      LSUR     SLSUR     KVARY
AGWRC
*** x  - x                (in)   (in/hr)      (ft)              (1/in)
(1/day)
  101             0.        12     0.002       150      0.29        0.
0.985
```

```
*** < PLS>    FOREST      LZSN    INFILT      LSUR     SLSUR     KVARY
AGWRC
*** x  - x                (in)   (in/hr)      (ft)               (1/in)
(1/day)
  102             0.        14       0.3       150      0.29        0.
0.985
  103              0        12       0.3       150      0.29        0.
0.985
  104              0        15       0.3       150      0.29        0.
0.985
  105             0.        14       0.3       150      0.29        0.
0.985
  106             0.        12       0.3       150      0.29        0.
0.985
  201             0.        12     0.002       150      0.27        0.
0.985
  202             0.        14       0.3       150      0.27        0.
0.985
  203              0        12       0.3       150      0.27        0.
0.985
  204              0        15       0.3       150      0.27        0.
0.985
  205             0.        14       0.3       150      0.27        0.
0.985
  206             0.        12       0.3       150      0.27        0.
0.985
  207              0        12       0.3       150      0.27        0.
0.985
  301  302        0.       100     0.002       250      0.25        0.
0.999
  303  304         0       100     0.002       250      0.25        0.
0.999
```

```
  305  306        0.       100     0.002       250      0.25        0.
0.999
  307              0       100     0.002       250      0.25        0.
0.999
  END PWAT-PARM2

  PWAT-PARM3
*** < PLS>    PETMAX    PETMIN    INFEXP    INFILD    DEEPFR    BASETP
AGWETP
*** x  - x   (deg F)   (deg F)
  101  207       40.       35.       0.6         1      0.13      0.06
0.2
*** < PLS>    PETMAX    PETMIN    INFEXP    INFILD    DEEPFR    BASETP
AGWETP
*** x  - x   (deg F)   (deg F)
  301  307       40.       35.       0.1         1   0.00001      0.06
0.2
  END PWAT-PARM3

  PWAT-PARM4
*** <PLS >     CEPSC      UZSN      NSUR     INTFW       IRC     LZETP
*** x -  x      (in)      (in)                        (1/day)
  101  207       0.1     1.128     0.001      0.75       0.5       0.1
*** <PLS >     CEPSC      UZSN      NSUR     INTFW       IRC     LZETP
*** x -  x      (in)      (in)                        (1/day)
  301  307         0     1.128     0.001       100      0.99       0.1
  END PWAT-PARM4

  PWAT-STATE1
*** < PLS>  PWATER state variables (in)
*** x  - x      CEPS      SURS       UZS      IFWS       LZS      AGWS
GWVS
```

```
  101  207         5        10        10        60     0.001        70
70
*** < PLS>  PWATER state variables (in)
*** x  - x      CEPS      SURS       UZS      IFWS       LZS      AGWS
GWVS
  301  307         5       100       100       100        10        70
70
  END PWAT-STATE1

  MON-INTERCEP
*** <PLS >  Interception storage capacity at start of each month (in)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  207  0.1 0.01    1 0.01    0  0.1  0.1  0.1  1.2 0.01 0.01  0.2
*** <PLS >  Interception storage capacity at start of each month (in)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  301  307    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
  END MON-INTERCEP

  MON-LZETPARM
*** <PLS >  Lower zone evapotransp   parm at start of each month
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  307  0.2  0.2  0.2  0.3  0.3  0.4  0.4    1  0.4    0  1.3  0.6
  END MON-LZETPARM

  NQUALS
*** <PLS >
*** x -  xNQUAL
  101  307    1
  END NQUALS

  QUAL-PROPS
*** <PLS >  Identifiers and Flags
```

```
*** x -  x    QUALID      QTID  QSD VPFW VPFS  QSO  VQO QIFW VIQC QAGW
VAQC
  101  307F.COLIFORM      #ORG    0    0    0    1    1    1    1    1
1
  END QUAL-PROPS

  QUAL-INPUT
***         Storage on surface and nonseasonal parameters
***              SQO    POTFW    POTFS    ACQOP  SQOLIM    WSQOP     IOQC
AOQC
*** <PLS >  qty/ac qty/ton qty/ton     qty/   qty/ac    in/hr qty/ft3
qty/ft3
*** x -  x                          ac.day
  101  307   1E+09        0        0        1   1E+11     38.5      140
50
  END QUAL-INPUT

  MON-ACCUM
*** <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  1025.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e85.7e8
*** <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  103     9.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e5
*** <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  104      2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6
*** <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
```

```
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  105     8.8e89.7e88.8e89.1e88.8e89.1e88.8e88.8e89.1e88.8e89.1e88.8e8
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  106         0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  201  2031.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e91.3e9
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  204      2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  205     3.3e93.7e93.3e93.6e93.5e93.5e93.3e93.3e93.5e95.9e96.1e93.3e9
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  206  207    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  301  3025.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e85.1e8
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  303     9.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e59.8e5
***  <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
```

```
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  304      2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6 2.e6
*** <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  305     2.3e92.6e92.3e92.4e92.3e92.4e92.3e92.3e92.4e92.3e9    02.3e9
*** <PLS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(lb/ac.day)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  306  307    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
  END MON-ACCUM

  MON-SQOLIM
*** <PLS >  Value at start of month for limiting storage of QUALOF
(lb/ac)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  3075E+103E+113E+113E+119E+103E+119E+183E+113E+113E+119E+119E+11
  END MON-SQOLIM

  MON-IFLW-CONC
*** <PLS >  Conc of QUAL in interflow outflow for each month (qty/ft3)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  30710000 2000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 6000
  END MON-IFLW-CONC

  MON-GRND-CONC
*** <PLS >  Value at start of month for conc of QUAL in groundwater
(qty/ft3)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  307 2500 3000 2500 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2500 3000
  END MON-GRND-CONC
```

```
END PERLND

IMPLND
  ACTIVITY
*** <ILS >                Active Sections
*** x -  x ATMP SNOW IWAT  SLD  IWG IQAL
  101  302    0    0    1    0    0    1
  END ACTIVITY

  PRINT-INFO
*** <ILS > ******** Print-flags ******** PIVL  PYR
*** x -  x ATMP SNOW IWAT  SLD  IWG IQAL *********
  101  302    4    4    4    4    4    4    1    9
  END PRINT-INFO

  BINARY-INFO
*** <ILS > **** Binary-Output-flags **** PIVL  PYR
*** x -  x ATMP SNOW IWAT  SLD  IWG IQAL *********
  101  302    4    4    4    4    4    4    1    9
  END BINARY-INFO

  GEN-INFO
***             Name             Unit-systems   Printer BinaryOut
*** <ILS >                           t-series Engl Metr Engl Metr
*** x -  x                            in  out
  101     Urban or Built-Up            1    1    0    0   92    0
  102     Forest Land                  1    1    0    0   92    0
  201     Urban or Built-Up            1    1    0    0   92    0
  202     Forest Land                  1    1    0    0   92    0
  301     Urban or Built-Up            1    1    0    0   92    0
  302     Forest Land                  1    1    0    0   92    0
  END GEN-INFO
```

```
  IWAT-PARM1
*** <ILS >        Flags
*** x -  x CSNO RTOP  VRS  VNN RTLI
  101  302    0    0    0    0    0
  END IWAT-PARM1

  IWAT-PARM2
*** <ILS >      LSUR     SLSUR      NSUR     RETSC
*** x -  x      (ft)                          (in)
  101  102      4000    0.1177         1         5
*** <ILS >      LSUR     SLSUR      NSUR     RETSC
*** x -  x      (ft)                          (in)
  201  202      4000    0.0945         1         5
*** <ILS >      LSUR     SLSUR      NSUR     RETSC
*** x -  x      (ft)                          (in)
  301  302     10000    0.0745       0.2         1
  END IWAT-PARM2

  IWAT-PARM3
*** <ILS >    PETMAX    PETMIN
*** x -  x   (deg F)   (deg F)
  101  302        50        45
  END IWAT-PARM3

  IWAT-STATE1
*** <ILS >  IWATER state variables (inches)
*** x -  x      RETS      SURS
  101  202        10      0.01
*** <ILS >  IWATER state variables (inches)
*** x -  x      RETS      SURS
  301  302        10        50
```

```
  END IWAT-STATE1

  NQUALS
*** <ILS >
*** x -  xNQUAL
  101  302    1
  END NQUALS

  QUAL-PROPS
*** <ILS >    Identifiers and Flags
*** x -  x      QUALID    QTID  QSD VPFW  QSO  VQO
  101  302F.COLIFORM      #ORG    0    0    1    1
  END QUAL-PROPS

  QUAL-INPUT
***         Storage on surface and nonseasonal parameters
***            SQO   POTFW   ACQOP  SQOLIM   WSQOP
*** <ILS >  qty/ac qty/ton    qty/  qty/ac   in/hr
*** x -  x                  ac.day
  101  302   1E+08      0. 2.7E+09 9.9E+09      20
  END QUAL-INPUT

  MON-POTFW
*** <ILS >  Value at start of each month for washoff potency factor
(qty/ton)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  302   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.
  END MON-POTFW

  MON-ACCUM
*** <ILS >  Value at start of each month for accum rate of QUALOF
(qty/ac.day)
```

```
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
  101  302   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.   0.
  END MON-ACCUM

END IMPLND

RCHRES
  ACTIVITY
*** RCHRES  Active sections
*** x -  x HYFG ADFG CNFG HTFG SDFG GQFG OXFG NUFG PKFG PHFG
    1    3    1    1    0    0    0    1    0    0    0    0
  END ACTIVITY

  PRINT-INFO
*** RCHRES  Printout level flags
*** x -  x HYDR ADCA CONS HEAT  SED  GQL OXRX NUTR PLNK PHCB PIVL  PYR
    1    3    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END PRINT-INFO

  BINARY-INFO
*** RCHRES  Binary Output level flags
*** x -  x HYDR ADCA CONS HEAT  SED  GQL OXRX NUTR PLNK PHCB PIVL  PYR
    1    3    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END BINARY-INFO

  GEN-INFO
***              Name        Nexits   Unit Systems   Printer
*** RCHRES                              t-series  Engl Metr LKFG
*** x -  x                                in  out
    1     USGS 50143000           1         1    1   91    0    0   92
0
```

```
    2     USGS 50144000           1         1    1   91    0    0   92
0
    3     USGS 50146000           1         1    1   91    0    0   92
0
  END GEN-INFO

  HYDR-PARM1
***         Flags for HYDR section
***RC HRES  VC A1 A2 A3  ODFVFG for each *** ODGTFG for each     FUNCT
for each
***  x   -  x   FG  FG  FG  FG   possible     exit  ***  possible     exit
possible   exit
    1    3   0  1  1  1    4  0  0  0  0       0  0  0  0  0       1  1
1  1  1
  END HYDR-PARM1

  HYDR-PARM2
*** RCHRES FTBW FTBU       LEN     DELTH     STCOR        KS      DB50
*** x -  x             (miles)      (ft)      (ft)                (in)
    1        0.    1     13.41      1062       3.2       0.6      0.01
    2        0.    2     16.36       377       3.2       0.4      0.01
    3        0.    3       9.4       377       3.2       0.4      0.01
  END HYDR-PARM2

  HYDR-INIT
***         Initial conditions for HYDR section
***RC HRES        VOL  CAT Initial value  of COLIND     initial  value
of OUTDGT
*** x  - x     ac-ft       for each possible   exit  for each possible
exit,ft3
    1    2      0.01       4.2  4.5  4.5  4.5  4.2       2.1  1.2  0.5
1.2  1.8
```

```
***         Initial conditions for HYDR section
***RC HRES        VOL  CAT Initial value  of COLIND     initial  value
of OUTDGT
*** x  - x      ac-ft       for each possible   exit  for each possible
exit,ft3
    3           2000       4.2  4.5  4.5  4.5  4.2       2.1  1.2  0.5
1.2  1.8
  END HYDR-INIT

  CONS-DATA
*** RCHRES
*** x -  x        Substance-id      Conc        ID      CONV     QTYID
    1    3total diss solids        251.3  mg/I         251.3  kg
  END CONS-DATA

  SED-GENPARM
*** RCHRES    BEDWID    BEDWRN       POR
*** x -  x      (ft)      (ft)
    1    3       16.      100.       0.5
  END SED-GENPARM

  SAND-PM
*** RCHRES         D         W       RHO     KSAND    EXPSND
*** x -  x      (in)  (in/sec)  (gm/cm3)
    1    3      0.04       0.1        4.       0.1      3.92
  END SAND-PM

  SILT-CLAY-PM
*** RCHRES         D         W       RHO     TAUCD     TAUCS         M
*** x -  x      (in)  (in/sec)    gm/cm3    lb/ft2    lb/ft2  lb/ft2.d
    1    3     0.001      0.05        3.       0.1       0.3       0.9
  END SILT-CLAY-PM
```

```
  SILT-CLAY-PM
*** RCHRES         D         W       RHO     TAUCD     TAUCS         M
*** x -  x      (in)  (in/sec)    gm/cm3    lb/ft2    lb/ft2  lb/ft2.d
    1    3     0.001      0.05        3.       0.1       0.3       0.9
  END SILT-CLAY-PM

  GQ-GENDATA
*** RCHRES NGQL TPFG PHFG ROFG CDFG SDFG PYFG  LAT
*** x -  x                                     deg
    1    3    1    2    2    2    2    2    2    0
  END GQ-GENDATA

  GQ-QALDATA
*** RCHRES                GQID      DQAL    CONCID      CONV     QTYID
*** x -  x                        concid
    1    3F.COLIFORM                   5      OR/L    0.0353  #ORG
  END GQ-QALDATA

  GQ-QALFG
*** RCHRES HDRL OXID PHOT VOLT BIOD  GEN SDAS
*** x -  x
    1    3    0    0    0    0    0    1    0
  END GQ-QALFG

  GQ-GENDECAY
*** RCHRES    FSTDEC     THFST
*** x -  x    (/day)
    1    2       1.2       1.6
*** RCHRES    FSTDEC     THFST
*** x -  x    (/day)
    3              1       1.6
```

```
  END GQ-GENDECAY

  OX-GENPARM
*** RCHRES    KBOD20     TCBOD    KODSET    SUPSAT
*** x -  x       /hr               ft/hr
    1    3       0.1      1.06        8.       1.2
  END OX-GENPARM

  NUT-FLAGS
*** RCHRES  Nutrient flags
*** x -  x  NH3  NO2  PO4  AMV  DEN ADNH ADPO PHFL
    1    3    0    0    1    0    0    0    0    2
  END NUT-FLAGS

  NUT-NITDENIT
*** RCHRES    KTAM20    KNO220     TCNIT    KNO320     TCDEN    DENOXT
*** x -  x       /hr       /hr                 /hr                mg/l
    1    3      0.05      0.05       1.1      0.05      1.08        4.
  END NUT-NITDENIT

  PLNK-FLAGS
*** RCHRES Plankton flags
*** x -  x PHYF ZOOF BALF SDLT AMRF DECF NSFG ZFOO  BNP
    1    3    0    0    0    0    0    0    0    2    0
  END PLNK-FLAGS

  PLNK-PARM1
***RC HRES    RATCLP    NONREF    LITSED     ALNPR      EXTB     MALGR
PARADF
*** x  - x                       l/mg.ft                 /ft       /hr
    1    3       0.5       0.3        0.       0.4       0.1       0.3
1
```

```
  END PLNK-PARM1

END RCHRES

FTABLES

  FTABLE      1
 rows cols                                ***
    8    4
     depth      area    volume  outflow1 ***
        0.     26.11        0.        0.
      0.48     35.08     14.75    714.41
      4.82    115.83    342.06   60303.3
      9.28    198.85   1043.81 269622.59
     12.78    249.15   1827.81 589206.94
     16.28    299.44   2787.841052237.13
     18.14    317.92   3361.991379933.13
       20.    336.39   3970.491751868.63
  END FTABLE  1

  FTABLE      2
 rows cols                                ***
    8    4
     depth      area    volume  outflow1 ***
        0.    126.81        0.        0.
      0.71    132.27     91.32    4512.6
      7.05    181.39   1086.41  221752.5
       7.1    181.78   1095.49  224502.9
       7.4    818.93   1342.35  117774.8
      7.71    838.01   1595.04  154618.4
     17.13   1426.75   12257.5  3249742.
     26.54   2015.49  28463.58  8249742.
```

```
  END FTABLE  2

  FTABLE      3
 rows cols                              ***
    8    4
     depth      area    volume  outflow1 ***
        0.        0.        0.        0.
      0.71      5.46      1.92     56.23
      7.05     54.58    192.41  26097.43
       7.1     54.97    195.15  26593.92
       7.4    692.13    403.34  29786.76
      7.71     711.2    617.35  35420.68
     17.13   1299.94  10085.79  5497252.
     26.54   1888.69  25097.85  8902410.
  END FTABLE  3
END FTABLES

COPY
  TIMESERIES
  Copy-opn***
*** x -  x  NPT  NMN
    1         0    7
  END TIMESERIES

END COPY

BMPRAC
  PRINT-INFO
*** BMPRAC  Printout level flags
*** x -  x FLOW CONS HEAT  SED   GQ  OXY  NUT PLNK   PH PIVL  PYR
    1    6    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END PRINT-INFO
```

```
  GEN-INFO
***              Name           BMP             Unit Systems   Printer
*** BMPRAC                     Type NCON  NGQ      t-series  Engl Metr
*** x -  x<------------------>                      in  out
    1    6                        1    0    0         1    1    0    0
  END GEN-INFO

  FLOW-FLAG
*** BMPRAC Monthly variable flag
*** x -  x VOLF
    1    6    0
  END FLOW-FLAG

  FLOW-FRAC
*** BMPRAC Removal fraction
*** x -  x    VOLFRC
    1    6         0
  END FLOW-FRAC

  CONS-FLAG
*** BMPRAC            Monthly variable flags
*** x -  x  C1F  C2F  C3F  C4F  C5F  C6F  C7F  C8F  C9F C10F
    1    6    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
  END CONS-FLAG

  CONS-FRAC
*** BMPRAC        Name           Units  Removal fraction
*** x -  x<-------CONID------>  <CQTYID>    CONFRC
    1    6                                      0
  END CONS-FRAC
```

```
  HEAT-FLAG
*** BMPRAC Monthly variable flag
*** x -  x  HTF
    1    6    0
  END HEAT-FLAG

  HEAT-FRAC
*** BMPRAC Removal fraction
*** x -  x     HTFRC
    1    6         0
  END HEAT-FRAC

  SED-FLAG
*** BMPRAC Monthly variable flags
*** x -  x Sand Silt Clay
    1    6    0    0    0
  END SED-FLAG

  SED-FRAC
*** BMPRAC         Removal fractions
*** x -  x      sand      silt      clay
    1    6         0         0         0
  END SED-FRAC

  GQ-FLAG
***                    Monthly variable flags
*** BMPRAC<------Qual 1------><------Qual 2------><------Qual 3------>
*** x -  x Soln Sand Silt Clay Soln Sand Silt Clay Soln Sand Silt Clay
    1    6    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
  END GQ-FLAG

  GQ-FRAC
```

```
***BM PRAC        Name           Units            Removal fractions
*** x  - x<-------GQID------->  <GQTYID>       Soln       Sand       Silt
Clay
    1    6                                        0          0          0
0
  END GQ-FRAC

  OXY-FLAG
*** BMPRAC  Monthly variable flags
*** x -  x DOXF BODF
    1    6    0    0
  END OXY-FLAG

  OXY-FRAC
*** BMPRAC   Removal fractions
*** x -  x       DOX       BOD
    1    6         0         0
  END OXY-FRAC

  NUT-FLAG
***                  Monthly variable flags
*** BMPRAC<-----Solution----->><---Ads-NH4--->><---Ads-PO4--->
*** x -  x  NO3  TAM  NO2  PO4 Sand Silt Clay Sand Silt Clay
    1    6    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
  END NUT-FLAG

  DNUT-FRAC
*** BMPRAC               Removal fractions
*** x -  x       NO3       TAM       NO2       PO4
    1    6         0         0         0         0
  END DNUT-FRAC
```

```
  ADSNUT-FRAC
***                              Removal fractions
*** BMPRAC              Ammonia                      Phosphate
*** x -  x      Sand      Silt      Clay      Sand      Silt      Clay
    1    6         0         0         0         0         0         0
  END ADSNUT-FRAC

  PLANK-FLAG
*** BMPRAC  Monthly variable flags
*** x -  x Phyt  Zoo  ORN  ORP  ORC
    1    6    0    0    0    0    0
  END PLANK-FLAG

  PLANK-FRAC
*** BMPRAC                  Removal Fractions
*** x -  x      Phyt       Zoo       ORN       ORP       ORC
    1    6         0         0         0         0         0
  END PLANK-FRAC

  PH-FLAG
*** BMPRAC  Monthly variable flags
*** x -  x  TIC  CO2
    1    6    0    0
  END PH-FLAG

  PH-FRAC
*** BMPRAC    Removal fractions
*** x -  x       TIC       CO2
    1    6         0         0
  END PH-FRAC

  ACID-FLAG
```

```
*** BMPRAC  Num       Monthly variable flags
*** x -  x Chem ACI1 ACI2 ACI3 ACI4 ACI5 ACI6 ACI7
    1    6    0    0    0    0    0    0    0    0
  END ACID-FLAG

  ACID-FRAC
***BM PRAC                           Removal fractions
*** x  - x      ACI1      ACI2      ACI3      ACI4      ACI5      ACI6
ACI7
    1    6         0         0         0         0         0         0
0
  END ACID-FRAC

END BMPRAC

EXT SOURCES
<-Volume->  <Member>  SsysSgap<--Mult-->Tran  <-Target  vols>  <-Grp>  <-
Member-> ***
<Name>   x <Name> x tem strg<-factor->strg <Name>   x   x        <Name>
x x ***
*** Met Seg ADJ_0061
WDM2    11 PREC     ENGL              SAME PERLND 101 106 EXTNL  PREC
WDM2    16 PEVT     ENGL              SAME PERLND 101 106 EXTNL  PETINP
*** Met Seg MAR_5908
WDM2    31 PREC     ENGL              SAME PERLND 201 207 EXTNL  PREC
WDM2    36 PEVT     ENGL              SAME PERLND 201 207 EXTNL  PETINP
*** Met Seg SAN_8881
WDM2    51 PREC     ENGL              SAME PERLND 301 307 EXTNL  PREC
WDM2    56 PEVT     ENGL              SAME PERLND 301 307 EXTNL  PETINP
*** Met Seg ADJ_0061
WDM2    11 PREC     ENGL              SAME IMPLND 101 102 EXTNL  PREC
WDM2    16 PEVT     ENGL              SAME IMPLND 101 102 EXTNL  PETINP
```

```
*** Met Seg MAR_5908
WDM2    31 PREC     ENGL              SAME IMPLND 201 202 EXTNL  PREC
WDM2    36 PEVT     ENGL              SAME IMPLND 201 202 EXTNL  PETINP
*** Met Seg SAN_8881
WDM2    51 PREC     ENGL              SAME IMPLND 301 302 EXTNL  PREC
WDM2    56 PEVT     ENGL              SAME IMPLND 301 302 EXTNL  PETINP
*** Met Seg ADJ_0061
WDM2    11 PREC     ENGL              SAME RCHRES   1     EXTNL  PREC
*** Met Seg MAR_5908
WDM2    31 PREC     ENGL              SAME RCHRES   2     EXTNL  PREC
*** Met Seg SAN_8881
WDM2    51 PREC     ENGL              SAME RCHRES   3     EXTNL  PREC
END EXT SOURCES

SCHEMATIC
<-Volume->                        <--Area-->       <-Volume->   <ML#> ***
<sb>
<Name>    x                      <-factor->      <Name>    x          ***
x x
PERLND 101                           52     BMPRAC   2     10
IMPLND 101                          752     BMPRAC   2     13
PERLND 102                          140     BMPRAC   2     10
PERLND 105                         3172     BMPRAC   1     10
PERLND 103                         1166     RCHRES   1      2
PERLND 104                        11033     RCHRES   1      2
IMPLND 102                         1871     RCHRES   1      1
PERLND 106                           25     RCHRES   1      2
BMPRAC   2                                  RCHRES   1      9
BMPRAC   1                                  RCHRES   1      9
PERLND 205                      1399.11     BMPRAC   3     10
PERLND 201                        45.75     BMPRAC   3     10
IMPLND 201                      1545.75     BMPRAC   3     13
```

PERLND	202	345	BMPRAC	3	10
PERLND	203	3853.22	BMPRAC	4	10
PERLND	205	1228.33	BMPRAC	4	10
PERLND	204	21680	RCHRES	2	2
IMPLND	202	9291	RCHRES	2	1
PERLND	206	171	RCHRES	2	2
PERLND	207	8	RCHRES	2	2
RCHRES	1		RCHRES	2	3
BMPRAC	3		RCHRES	2	9
BMPRAC	4		RCHRES	2	9
PERLND	205	1808.56	RCHRES	2	2
PERLND	201	15.25	RCHRES	2	2
IMPLND	201	515.25	RCHRES	2	1
PERLND	202	115	RCHRES	2	2
PERLND	203	1285.78	RCHRES	2	2
PERLND	305	465.75	BMPRAC	5	10
PERLND	301	27.5	BMPRAC	6	10
IMPLND	301	427.5	BMPRAC	6	13
PERLND	302	90	BMPRAC	6	10
PERLND	303	3892	RCHRES	3	2
PERLND	304	180	RCHRES	3	2
IMPLND	302	10420	RCHRES	3	1
PERLND	306	88	RCHRES	3	2
PERLND	307	4	RCHRES	3	2
RCHRES	2		RCHRES	3	3
BMPRAC	5		RCHRES	3	9
BMPRAC	6		RCHRES	3	9
PERLND	305	155.25	RCHRES	3	2
PERLND	301	27.5	RCHRES	3	2
IMPLND	301	427.5	RCHRES	3	1
PERLND	302	90	RCHRES	3	2
PERLND	301	55	COPY	1	90

```
IMPLND 301                          855     COPY     1     91
PERLND 302                          180     COPY     1     90
PERLND 303                         3892     COPY     1     90
PERLND 304                        10420     COPY     1     90
IMPLND 302                          180     COPY     1     91
PERLND 305                          621     COPY     1     90
PERLND 306                           88     COPY     1     90
PERLND 307                            4     COPY     1     90
PERLND 201                           61     COPY     1     90
IMPLND 201                         2061     COPY     1     91
PERLND 202                          460     COPY     1     90
PERLND 203                         5139     COPY     1     90
PERLND 204                        21680     COPY     1     90
IMPLND 202                         9291     COPY     1     91
PERLND 205                         4436     COPY     1     90
PERLND 206                          171     COPY     1     90
PERLND 207                            8     COPY     1     90
PERLND 101                           52     COPY     1     90
IMPLND 101                          752     COPY     1     91
PERLND 102                          140     COPY     1     90
PERLND 103                         1166     COPY     1     90
PERLND 104                        11033     COPY     1     90
IMPLND 102                         1871     COPY     1     91
PERLND 105                         3172     COPY     1     90
PERLND 106                           25     COPY     1     90
END SCHEMATIC

EXT TARGETS
<-Volume->  <-Grp>  <-Member-><--Mult-->Tran  <-Volume->  <Member>  Tsys
Aggr Amd ***
<Name>    x          <Name> x x<-factor->strg <Name>    x <Name>qf   tem
strg strg***
```

```
RCHRES    1 HYDR    RO      1 1            AVER WDM1   1007 FLOW    1 ENGL
AGGR REPL
RCHRES    1 GQUAL   DQAL    1 1            AVER WDM1   1002 DQAL1   1 ENGL
AGGR REPL
RCHRES    2 HYDR    RO      1 1            AVER WDM1   1001 FLOW    1 ENGL
AGGR REPL
RCHRES    2 GQUAL   DQAL    1 1            AVER WDM1   1004 DQAL1   1 ENGL
AGGR REPL
RCHRES    3 HYDR    RO      1 1            AVER WDM1   1008 FLOW    1 ENGL
AGGR REPL
RCHRES    3 ROFLOW ROVOL   1 1 1.5422e-4      WDM    1009 SIMQ    1 ENGL
AGGR REPL
RCHRES    3 GQUAL   DQAL    1 1            AVER WDM1   1006 DQAL1   1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    1 1 1.2851e-5      WDM    1010 SURO    1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    2 1 1.2851e-5      WDM    1011 IFWO    1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    3 1 1.2851e-5      WDM    1012 AGWO    1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    4 1 1.2851e-5      WDM    1013 PETX    1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    5 1 1.2851e-5      WDM    1014 SAET    1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    6 1 1.2851e-5AVER WDM    1015 UZSX    1 ENGL
AGGR REPL
COPY      1 OUTPUT MEAN    7 1 1.2851e-5AVER WDM    1016 LZSX    1 ENGL
AGGR REPL
END EXT TARGETS

MASS-LINK
```

```
  MASS-LINK        2
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
PERLND     PWATER PERO       0.0833333     RCHRES         INFLOW IVOL
PERLND     PWTGAS PODOXM                   RCHRES         INFLOW OXIF
PERLND     PWTGAS POHT                     RCHRES         INFLOW IHEAT
PERLND     PEST   POPST  1                 RCHRES         INFLOW IDQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 RCHRES         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 RCHRES         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 RCHRES         INFLOW ISQAL
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.05     RCHRES         INFLOW ISED
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.55     RCHRES         INFLOW ISED
PERLND     SEDMNT SOSED  1         0.4     RCHRES         INFLOW ISED
PERLND     PQUAL  POQUAL 1                 RCHRES         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    2

  MASS-LINK        1
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
IMPLND     IWATER SURO       0.0833333     RCHRES         INFLOW IVOL
IMPLND     IWTGAS SODOXM                   RCHRES         INFLOW OXIF
IMPLND     IWTGAS SOHT                     RCHRES         INFLOW IHEAT
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1        0.05     RCHRES         INFLOW ISED
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1        0.55     RCHRES         INFLOW ISED
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1         0.4     RCHRES         INFLOW ISED
IMPLND     IQUAL  SOQUAL 1                 RCHRES         INFLOW IDQAL
1
```

```
  END MASS-LINK    1

  MASS-LINK        3
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
RCHRES     ROFLOW                          RCHRES         INFLOW
  END MASS-LINK    3

  MASS-LINK       90
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
PERLND     PWATER SURO                       COPY            INPUT  MEAN
1
PERLND     PWATER IFWO                       COPY            INPUT  MEAN
2
PERLND     PWATER AGWO                       COPY            INPUT  MEAN
3
PERLND     PWATER PET                        COPY            INPUT  MEAN
4
PERLND     PWATER TAET                       COPY            INPUT  MEAN
5
PERLND     PWATER UZS                        COPY            INPUT  MEAN
6
PERLND     PWATER LZS                        COPY            INPUT  MEAN
7
  END MASS-LINK   90

  MASS-LINK       91
```

```
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
IMPLND     IWATER SURO                      COPY            INPUT  MEAN
1
IMPLND     IWATER PET                       COPY            INPUT  MEAN
4
IMPLND     IWATER IMPEV                     COPY            INPUT  MEAN
5
  END MASS-LINK   91

  MASS-LINK        4
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
BMPRAC     ROFLOW ROVOL                    RCHRES         INFLOW IVOL
BMPRAC     ROFLOW ROOX                     RCHRES         INFLOW OXIF
BMPRAC     ROFLOW ROHEAT                   RCHRES         INFLOW IHEAT
BMPRAC     ROFLOW RODQAL                   RCHRES         INFLOW IDQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW RODQAL 1                  RCHRES         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    4

  MASS-LINK        5
```

```
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
PERLND     PWATER PERO       0.0833333     BMPRAC         INFLOW IVOL
PERLND     PWTGAS PODOXM                   BMPRAC         INFLOW IOX
PERLND     PWTGAS POHT                     BMPRAC         INFLOW IHEAT
PERLND     PEST   POPST  1                 BMPRAC         INFLOW IDQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.05     BMPRAC         INFLOW ISED
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.55     BMPRAC         INFLOW ISED
PERLND     SEDMNT SOSED  1         0.4     BMPRAC         INFLOW ISED
PERLND     PQUAL  POQUAL 1                 BMPRAC         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    5

  MASS-LINK        6
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
IMPLND     IWATER SURO       0.0833333     BMPRAC         INFLOW IVOL
IMPLND     IWTGAS SODOXM                   BMPRAC         INFLOW IOX
IMPLND     IWTGAS SOHT                     BMPRAC         INFLOW IHEAT
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1        0.05     BMPRAC         INFLOW ISED
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1        0.55     BMPRAC         INFLOW ISED
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1         0.4     BMPRAC         INFLOW ISED
IMPLND     IQUAL  SOQUAL 1                 BMPRAC         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    6
```

```
  MASS-LINK        7
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
BMPRAC     ROFLOW ROVOL                    RCHRES         INFLOW IVOL
BMPRAC     ROFLOW ROOX                     RCHRES         INFLOW OXIF
BMPRAC     ROFLOW ROHEAT                   RCHRES         INFLOW IHEAT
BMPRAC     ROFLOW RODQAL                   RCHRES         INFLOW IDQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW RODQAL 1                  RCHRES         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    7

  MASS-LINK        8
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name>
x x  ***
PERLND     PWATER PERO       0.0833333     BMPRAC         INFLOW IVOL
PERLND     PWTGAS PODOXM                   BMPRAC         INFLOW IOX
PERLND     PWTGAS POHT                     BMPRAC         INFLOW IHEAT
PERLND     PEST   POPST  1                 BMPRAC         INFLOW IDQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 BMPRAC         INFLOW ISQAL
```

```
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.05     BMPRAC         INFLOW ISED
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.55     BMPRAC         INFLOW ISED
PERLND     SEDMNT SOSED  1         0.4     BMPRAC         INFLOW ISED
PERLND     PQUAL  POQUAL 1                  BMPRAC         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    8

  MASS-LINK        9
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>               <Name>
x x  ***
BMPRAC     ROFLOW ROVOL                    RCHRES         INFLOW IVOL
BMPRAC     ROFLOW ROOX                     RCHRES         INFLOW OXIF
BMPRAC     ROFLOW ROHEAT                   RCHRES         INFLOW IHEAT
BMPRAC     ROFLOW RODQAL                   RCHRES         INFLOW IDQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSQAL                   RCHRES         INFLOW ISQAL
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW ROSED                    RCHRES         INFLOW ISED
BMPRAC     ROFLOW RODQAL 1                  RCHRES         INFLOW IDQAL
1
  END MASS-LINK    9

  MASS-LINK       10
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->       <-Target vols> <-Grp> <-
Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>               <Name>
x x  ***
PERLND     PWATER PERO       0.0833333     BMPRAC         INFLOW IVOL
```

```
PERLND     PWTGAS PODOXM                    BMPRAC         INFLOW IOX
PERLND     PWTGAS POHT                      BMPRAC         INFLOW IHEAT
PERLND     PEST   POPST  1                  BMPRAC         INFLOW IDQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                  BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                  BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND     PEST   SOSDPS 1                  BMPRAC         INFLOW ISQAL
PERLND
```

Apéndice F. Series de suelos cuenca del Río Grande de Añasco.

TIPO	NOMBRE
AaC2	Aceitunas clay
AdE2	Aibonito clay
An	Alluvial land
AnE2	Alonso clay
AnF2	Alonso clay
AoD2	Alonso clay
AoE2	Anones clay loam
AoF2	Arenales sandy loam
Ba	Bajura clay
CbF2	Caguabo clay loam
Cd	Catano sand
CdF	Caguabo-Rock land complex
Cn	Coloso silty clay loam
CoE	Consumo clay
CoF2	Consumo clay
CpF	Consumo clay
Cr	Corcega silty clay loam
CuF2	Consumo clay
CwF	Cuchillas silty clay loam
DaD	Daguey clay
DaD2	Daguey clay
DaE2	Daguey clay
Du	Dique silty loam
HmD2	Humatas clay
HmE2	Humatas clay
HmF	Humatas clay
HmF2	Humatas clay
HuE	Humatas gravelly clay
Ig	Igualdad clay
LaB2	Lares clay
LaD2	Lares clay
LgE	Los Guineos clay
Lm	Levelled sandy land
Lo	Limestone outcrop
LuD2	Los Guineos clay
LuE	Los Guineos clay
LuF	Los Guineos clay
LuF2	Los Guineos clay
LyFX	Los Guineos-Maricao association \ steep
McF2	Malaya clay
MeF2	Maraguez silty clay loam
MkF2	Maricao clay
Mn	Mani clay
MoF2	Maresua silty clayloam
MrF2	Maricao clay
MtE2	Morado clay loam
MtF2	Morado clay loam
MuD2	Mucara clay
MuE2	Mucara silty clay
MuF2	Mucara silty clay
MvC	Montegrande clay
MwE2	Morado clay loam
MwF2	Morado clay loam
MxD2	Mucara clay
MxE2	Mucara clay
MxF2	Mucara clay
NcD2	Nipe clay
Re	Reilly gravelly loam
Rr	Riverwash
RsD2	Rosario caly
RsE2	Rosario clay
RsF2	Rosario clay
SNS	Soil not surveyed
So	Serpentine outcrop
Ta	Talante loam
Td	Tildal swamp
To	Toa silty clay loam
ToA	Toa silty clay loam
W	Water

Fuente: Soil Survey of Mayagüez Area P.R. Soil Conservation Service. 1975.